

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Tabel 4.1

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Bahan Bakar 0,18 – 23,59 m/s dengan Kecepatan Udara 0,7 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	0.18	20.61	0.3	9.52	326.95	0.03
b	0.7	0.29	20.61	0.5	9.52	196.17	0.05
c	0.7	0.59	20.61	1	9.52	98.09	0.10
d	0.7	1.18	20.61	2	9.52	49.04	0.19
e	0.7	1.77	20.61	3	9.52	32.70	0.29
f	0.7	2.36	20.61	4	9.52	24.52	0.39
g	0.7	2.95	20.61	5	9.52	19.62	0.49
h	0.7	3.54	20.61	6	9.52	16.35	0.58
i	0.7	4.13	20.61	7	9.52	14.01	0.68
j	0.7	4.72	20.61	8	9.52	12.26	0.78
k	0.7	5.31	20.61	9	9.52	10.90	0.87
l	0.7	5.90	20.61	10	9.52	9.81	0.97
m	0.7	7.67	20.61	13	9.52	7.55	1.26
n	0.7	8.85	20.61	15	9.52	6.54	1.46
o	0.7	10.62	20.61	18	9.52	5.45	1.75
p	0.7	11.80	20.61	20	9.52	4.90	1.94
q	0.7	14.74	20.61	25	9.52	3.92	2.43
r	0.7	17.69	20.61	30	9.52	3.27	2.91
s	0.7	19.46	20.61	33	9.52	2.97	3.20
t	0.7	20.64	20.61	35	9.52	2.80	3.40
u	0.7	23.59	20.61	40	9.52	2.45	3.88

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.2

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Bahan Bakar 0,18 – 23,59 m/s dengan Kecepatan Udara 1,2 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	1.2	0.18	35.325	0.3	9.52	560.49	0.02
b	1.2	0.29	35.325	0.5	9.52	336.29	0.03
c	1.2	0.59	35.325	1	9.52	168.15	0.06
d	1.2	1.18	35.325	2	9.52	84.07	0.11
e	1.2	1.77	35.325	3	9.52	56.05	0.17
f	1.2	2.36	35.325	4	9.52	42.04	0.23
g	1.2	2.95	35.325	5	9.52	33.63	0.28

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
h	1.2	3.54	35.325	6	9.52	28.02	0.34
i	1.2	4.13	35.325	7	9.52	24.02	0.40
j	1.2	4.72	35.325	8	9.52	21.02	0.45
k	1.2	5.31	35.325	9	9.52	18.68	0.51
l	1.2	5.90	35.325	10	9.52	16.81	0.57
m	1.2	7.67	35.325	13	9.52	12.93	0.74
n	1.2	8.85	35.325	15	9.52	11.21	0.85
o	1.2	10.62	35.325	18	9.52	9.34	1.02
p	1.2	11.80	35.325	20	9.52	8.41	1.13
q	1.2	14.74	35.325	25	9.52	6.73	1.42
r	1.2	17.69	35.325	30	9.52	5.60	1.70
s	1.2	19.46	35.325	33	9.52	5.10	1.87
t	1.2	20.64	35.325	35	9.52	4.80	1.98
u	1.2	23.59	35.325	40	9.52	4.20	2.26

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.3

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Bahan Bakar 0,18 – 23,59 m/s dengan Kecepatan Udara 1,8 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	1.8	0.18	52.99	0.3	9.52	840.74	0.01
b	1.8	0.29	52.99	0.5	9.52	504.44	0.02
c	1.8	0.59	52.99	1	9.52	252.22	0.04
d	1.8	1.18	52.99	2	9.52	126.11	0.08
e	1.8	1.77	52.99	3	9.52	84.07	0.11
f	1.8	2.36	52.99	4	9.52	63.06	0.15
g	1.8	2.95	52.99	5	9.52	50.44	0.19
h	1.8	3.54	52.99	6	9.52	42.04	0.23
i	1.8	4.13	52.99	7	9.52	36.03	0.26
j	1.8	4.72	52.99	8	9.52	31.53	0.30
k	1.8	5.31	52.99	9	9.52	28.02	0.34
l	1.8	5.90	52.99	10	9.52	25.22	0.38
m	1.8	7.67	52.99	13	9.52	19.40	0.49
n	1.8	8.85	52.99	15	9.52	16.81	0.57
o	1.8	10.62	52.99	18	9.52	14.01	0.68
p	1.8	11.80	52.99	20	9.52	12.61	0.75
q	1.8	14.74	52.99	25	9.52	10.09	0.94
r	1.8	17.69	52.99	30	9.52	8.41	1.13
s	1.8	19.46	52.99	33	9.52	7.64	1.25
t	1.8	20.64	52.99	35	9.52	7.21	1.32
u	1.8	23.59	52.99	40	9.52	6.31	1.51

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.4

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Bahan Bakar 0,18 – 23,59 m/s dengan Kecepatan Udara 2,4 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	2.4	0.18	70.65	0.3	9.52	1120.98	0.01
b	2.4	0.29	70.65	0.5	9.52	672.59	0.01
c	2.4	0.59	70.65	1	9.52	336.29	0.03
d	2.4	1.18	70.65	2	9.52	168.15	0.06
e	2.4	1.77	70.65	3	9.52	112.10	0.08
f	2.4	2.36	70.65	4	9.52	84.07	0.11
g	2.4	2.95	70.65	5	9.52	67.26	0.14
h	2.4	3.54	70.65	6	9.52	56.05	0.17
i	2.4	4.13	70.65	7	9.52	48.04	0.20
j	2.4	4.72	70.65	8	9.52	42.04	0.23
k	2.4	5.31	70.65	9	9.52	37.37	0.25
l	2.4	5.90	70.65	10	9.52	33.63	0.28
m	2.4	7.67	70.65	13	9.52	25.87	0.37
n	2.4	8.85	70.65	15	9.52	22.42	0.42
o	2.4	10.62	70.65	18	9.52	18.68	0.51
p	2.4	11.80	70.65	20	9.52	16.81	0.57
q	2.4	14.74	70.65	25	9.52	13.45	0.71
r	2.4	17.69	70.65	30	9.52	11.21	0.85
s	2.4	19.46	70.65	33	9.52	10.19	0.93
t	2.4	20.64	70.65	35	9.52	9.61	0.99
u	2.4	23.59	70.65	40	9.52	8.41	1.13

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.5

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Bahan Bakar 0,18 – 23,59 m/s dengan Kecepatan Udara 3,6 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	3.6	0.18	105.98	0.3	9.52	1681.47	0.01
b	3.6	0.29	105.98	0.5	9.52	1008.88	0.01
c	3.6	0.59	105.98	1	9.52	504.44	0.02
d	3.6	1.18	105.98	2	9.52	252.22	0.04
e	3.6	1.77	105.98	3	9.52	168.15	0.06
f	3.6	2.36	105.98	4	9.52	126.11	0.08
g	3.6	2.95	105.98	5	9.52	100.89	0.09
h	3.6	3.54	105.98	6	9.52	84.07	0.11
i	3.6	4.13	105.98	7	9.52	72.06	0.13
j	3.6	4.72	105.98	8	9.52	63.06	0.15
k	3.6	5.31	105.98	9	9.52	56.05	0.17
l	3.6	5.90	105.98	10	9.52	50.44	0.19
m	3.6	7.67	105.98	13	9.52	38.80	0.25
n	3.6	8.85	105.98	15	9.52	33.63	0.28
o	3.6	10.62	105.98	18	9.52	28.02	0.34
p	3.6	11.80	105.98	20	9.52	25.22	0.38
q	3.6	14.74	105.98	25	9.52	20.18	0.47

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
r	3.6	17.69	105.98	30	9.52	16.81	0.57
s	3.6	19.46	105.98	33	9.52	15.29	0.62
t	3.6	20.64	105.98	35	9.52	14.41	0.66
u	3.6	23.59	105.98	40	9.52	12.61	0.75

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.6

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Udara 0,7 – 8,8 m/s dengan Kecepatan Bahan Bakar 0,29 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	0.29	20.61	0.5	9.52	196.17	0.0485
b	1.8	0.29	52.99	0.5	9.52	504.44	0.0189
c	2.4	0.29	70.65	0.5	9.52	672.59	0.0142
d	3.6	0.29	105.98	0.5	9.52	1008.88	0.0094
e	5.3	0.29	156.02	0.5	9.52	1485.30	0.0064
f	8.8	0.29	259.05	0.5	9.52	2466.16	0.0039

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.7

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Udara 0,7 – 8,8 m/s dengan Kecepatan Bahan Bakar 1,77 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	1.77	20.61	3	9.52	32.70	0.2912
b	1.8	1.77	52.99	3	9.52	84.07	0.1132
c	2.4	1.77	70.65	3	9.52	112.10	0.0849
d	3.6	1.77	105.98	3	9.52	168.15	0.0566
e	5.3	1.77	156.02	3	9.52	247.55	0.0385
f	8.8	1.77	259.05	3	9.52	411.03	0.0232

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Tabel 4.8

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Udara 0,7 – 8,8 m/s dengan Kecepatan Bahan Bakar 3,54 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR <i>Stoich</i>	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	3.54	20.61	6	9.52	16.35	0.5823
b	1.8	3.54	52.99	6	9.52	42.04	0.2265
c	2.4	3.54	70.65	6	9.52	56.05	0.1699
d	3.6	3.54	105.98	6	9.52	84.07	0.1132
e	5.3	3.54	156.02	6	9.52	123.77	0.0769
f	8.8	3.54	259.05	6	9.52	205.51	0.0463

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.9

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Udara 0,7 – 8,8 m/s dengan Kecepatan Bahan Bakar 5,31 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR Stoich	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	5.31	20.61	9	9.52	10.90	0.8735
b	1.8	5.31	52.99	9	9.52	28.02	0.3397
c	2.4	5.31	70.65	9	9.52	37.37	0.2548
d	3.6	5.31	105.98	9	9.52	56.05	0.1699
e	5.3	5.31	156.02	9	9.52	82.52	0.1154
f	8.8	5.31	259.05	9	9.52	137.01	0.0695

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.10

Data Rasio Ekuivalen Variasi Kecepatan Udara 0,7 – 8,8 m/s dengan Kecepatan Bahan Bakar 8,85 m/s

No	Kec. Udara (m/s)	Kec. Bahan Bakar (m/s)	Debit Udara (lpm)	Debit Bahan Bakar (lpm)	AFR Stoich	AFR Aktual	Rasio Ekuivalen
a	0.7	8.85	20.61	15	9.52	6.54	1.4559
b	1.8	8.85	52.99	15	9.52	16.81	0.5662
c	2.4	8.85	70.65	15	9.52	22.42	0.4246
d	3.6	8.85	105.98	15	9.52	33.63	0.2831
e	5.3	8.85	156.02	15	9.52	49.51	0.1923
f	8.8	8.85	259.05	15	9.52	82.21	0.1158

Sumber: Dokumentasi pribadi

Tabel 4.11

Data *Swirl Number* Variasi Sudut *Swirl* 10° – 30°

No	Jari-Jari Dalam (m)	Jari-Jari Luar (m)	Sudut (θ)	<i>Swirl Number</i>
a	0.003	0.0125	10	0.12
b	0.003	0.0125	20	0.25
c	0.003	0.0125	30	0.40

Sumber: Dokumentasi pribadi

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Perhitungan Debit dan Kecepatan

Diketahui:

- $U_{udara} = 0,7 \text{ m/s}$
- $D_{udara} = 2,5 \text{ cm} = 0,025 \text{ m}$
- $r = 0,025 : 2 = 0,0125 \text{ m}$

$$Q = v \times A$$

$$Q = v \times \pi r^2$$

$$Q = 0,7 \times (3,14 \times 0,00125^2)$$

$$Q = 3,4344 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = (3,4344 \times 10^{-4}) \times 60000$$

$$Q = 20,61 \text{ lpm}$$

Diketahui:

- Q_{bahanbakar} = 8 lpm
- D_{bahanbakar} = 0,6 cm = 0,006 m
- r = 0,006 : 2 = 0,003 m

$$Q = v \times A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

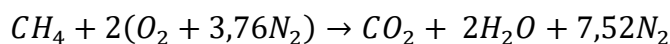
$$v = \frac{Q}{\pi r^2}$$

$$v = \frac{(8 : 60000)}{(3,14 \times 0,003^2)}$$

$$v = 4,72 \text{ m/s}$$

4.2.2 Perhitungan *Equivalence Ratio*

Dari data teori yang didapat saat kondisi *stokiometri* dibuktikan dengan perhitungan AFR *stokiometri* dari persamaan reaksi berikut.



$$\text{AFR}_{\text{stoich}} = \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}}$$

$$\text{AFR}_{\text{stoich}} = \frac{2(1 + 3,76)}{1} = 9,52$$



$$\text{AFR}_{\text{aktual}} = \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}}$$

$$\text{AFR}_{\text{aktual}} = \frac{20,61(1 + 3,76)}{8} = 12,26$$

Hukum Gay Lussac menyatakan bahwa pada suhu yang sama dan tekanan yang sama, perbandingan volume reaktan dan volume produk sama dengan perbandingan mol udara dengan mol bahan bakar.

$$\Phi = \frac{(\text{AFR})_{\text{stoich}}}{(\text{AFR})_{\text{aktual}}}$$

$$\Phi = \frac{9,52}{12,26} = 0,78$$

Keterangan:

AFR = Rasio udara dan bahan bakar

N_{udara} = Mol udara (mol)

$N_{bahan\ bakar}$ = Mol bahan bakar (mol)

Φ = Rasio ekuivalen

4.2.3 Perhitungan *Swirl Number*

Dari teori yang ada perhitungan untuk mencari nilai *swirl number* dengan sudut pada baling-baling, yaitu:

Diketahui:

- $R_h = 0,003\text{ m}$
- $R = 0,0125\text{ m}$
- $\theta = 10^\circ$

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{R_h}{R}\right)^3}{1 - \left(\frac{R_h}{R}\right)^2} \right] \tan \theta$$

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{0,003}{0,0125}\right)^3}{1 - \left(\frac{0,003}{0,0125}\right)^2} \right] \tan 10$$

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{0,003}{0,0125}\right)^3}{1 - \left(\frac{0,003}{0,0125}\right)^2} \right] \tan 10$$

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{0,99}{0,94} \right] 0,18 = 0,12$$

Keterangan:

R_h = jari – jari bagian dalam

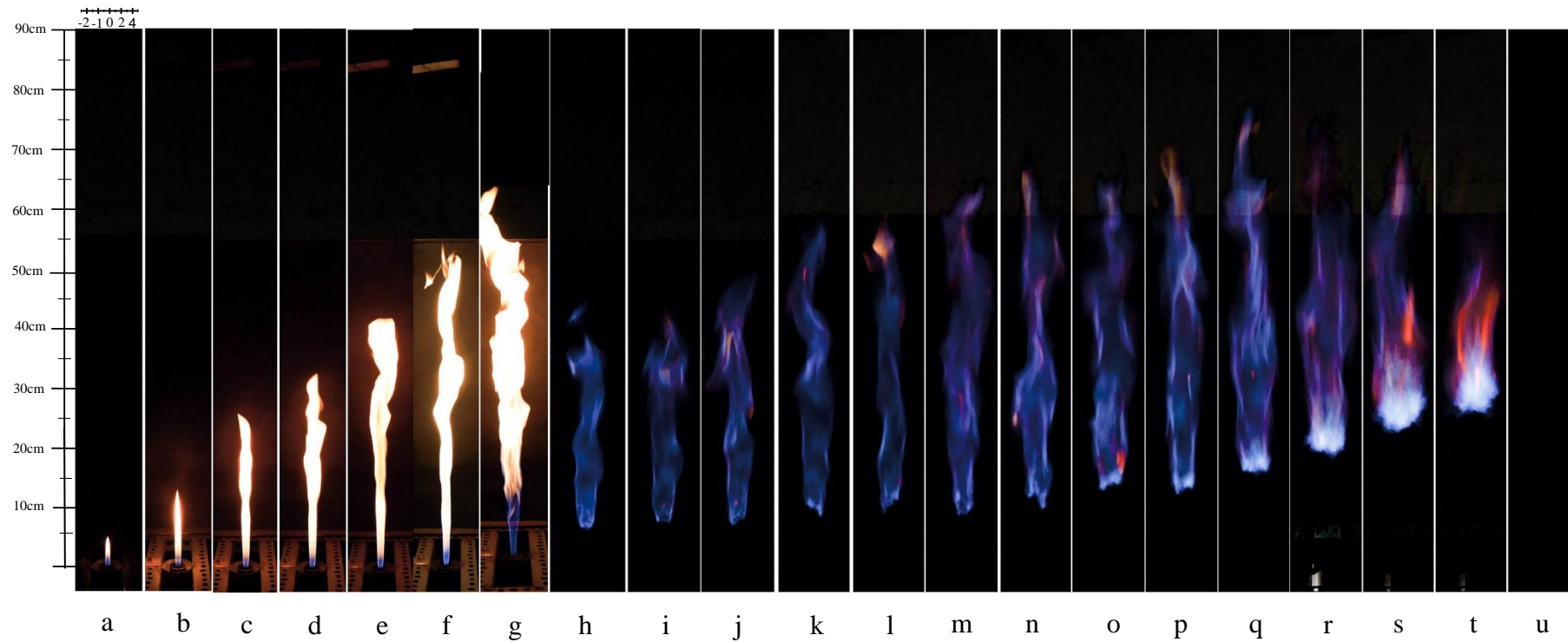
R = jari – jari bagian luar

θ = sudut *swirl vanes*

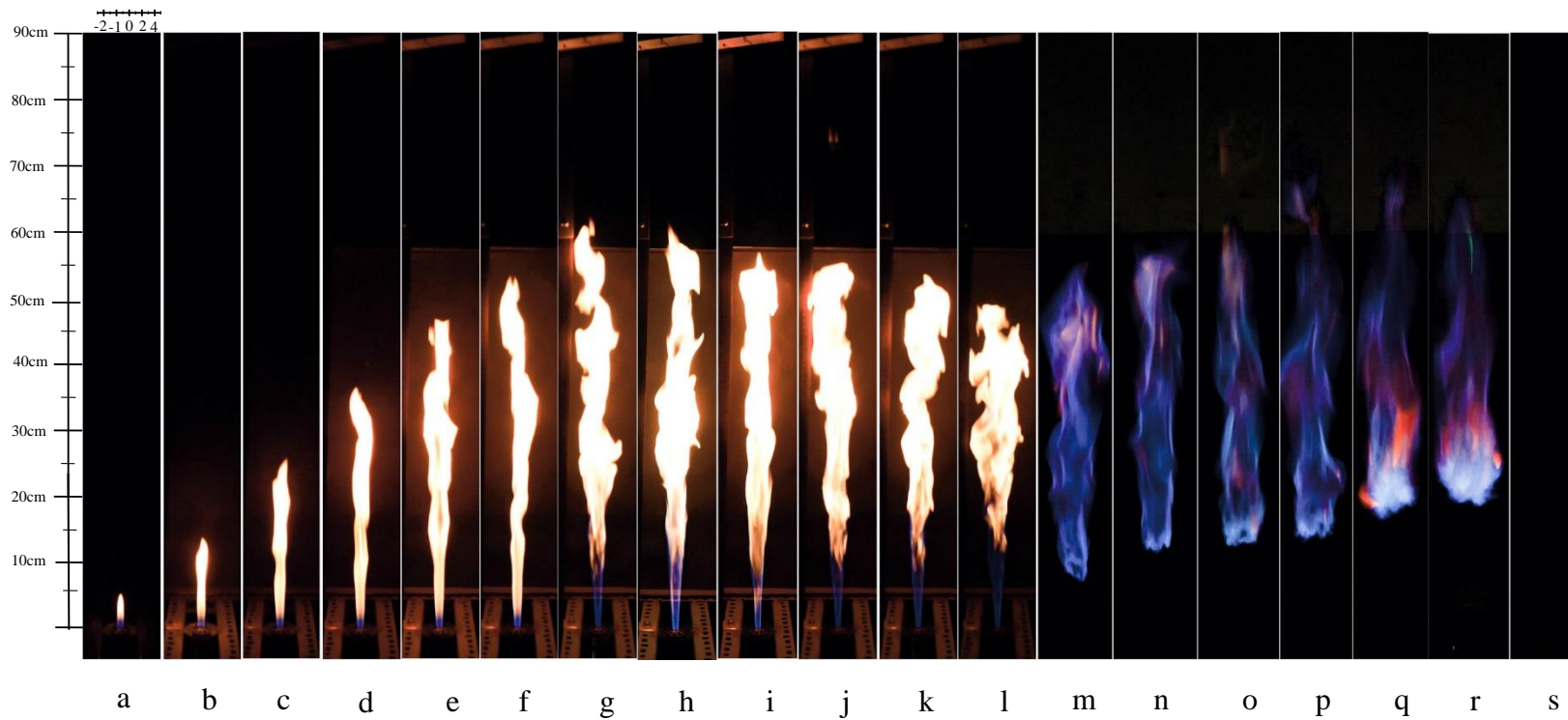
4.3 Pembahasan

4.3.1 Visualisasi Api Difusi

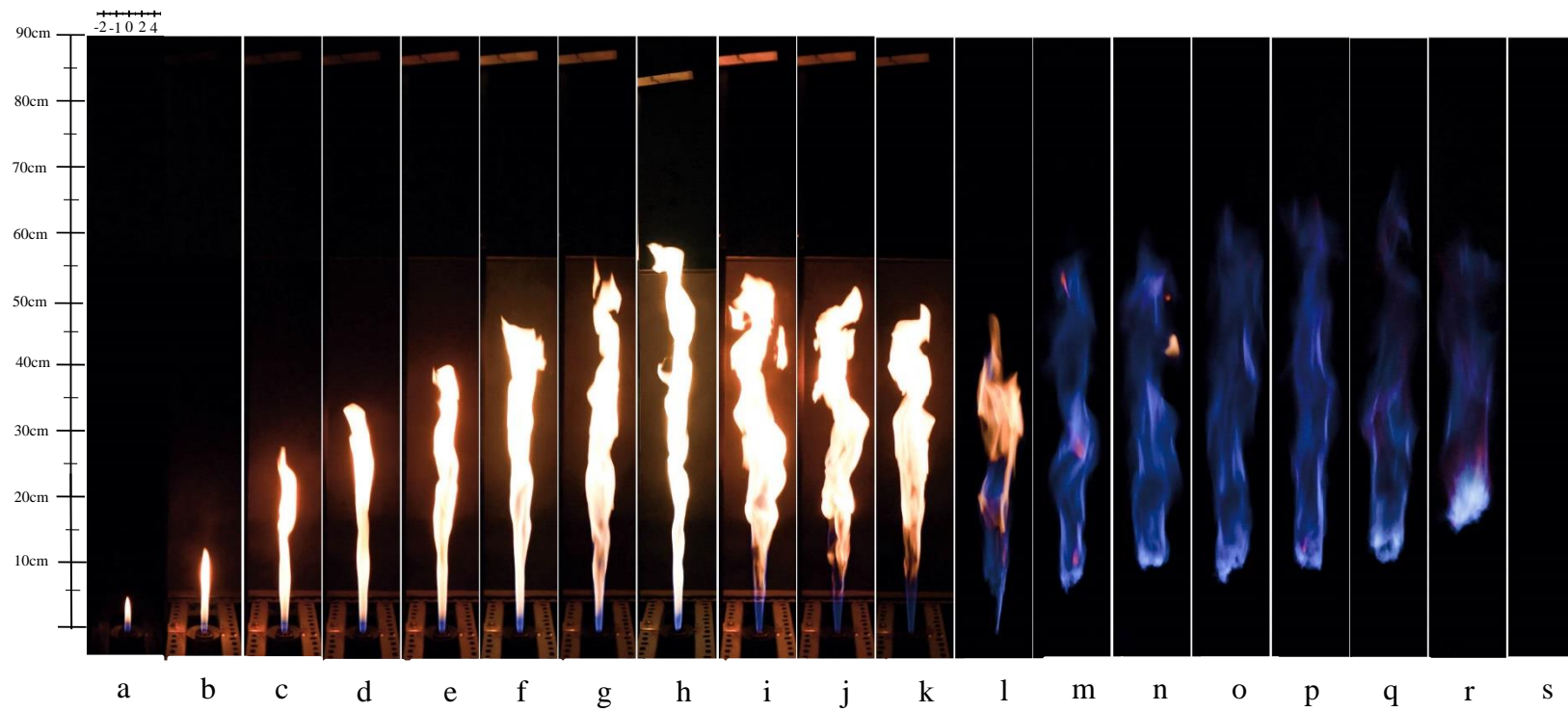
4.3.1.1 Pengaruh Variasi Sudut *Swirl Vanes* Terhadap Visualisasi Api Difusi



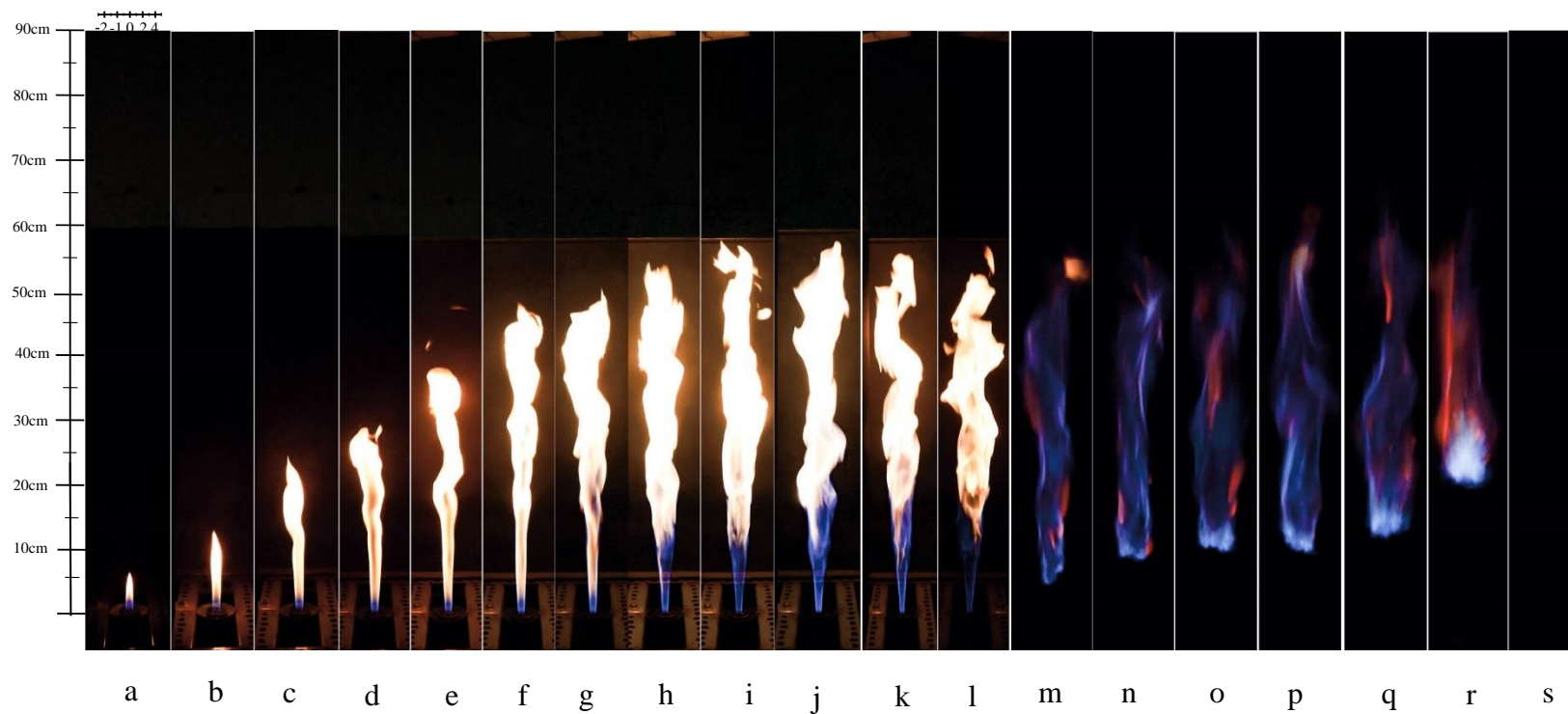
Gambar 4.1 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s; (t) 20,64 m/s; (u) 23,59 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s tanpa pemasangan *swirl*



Gambar 4.2 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°

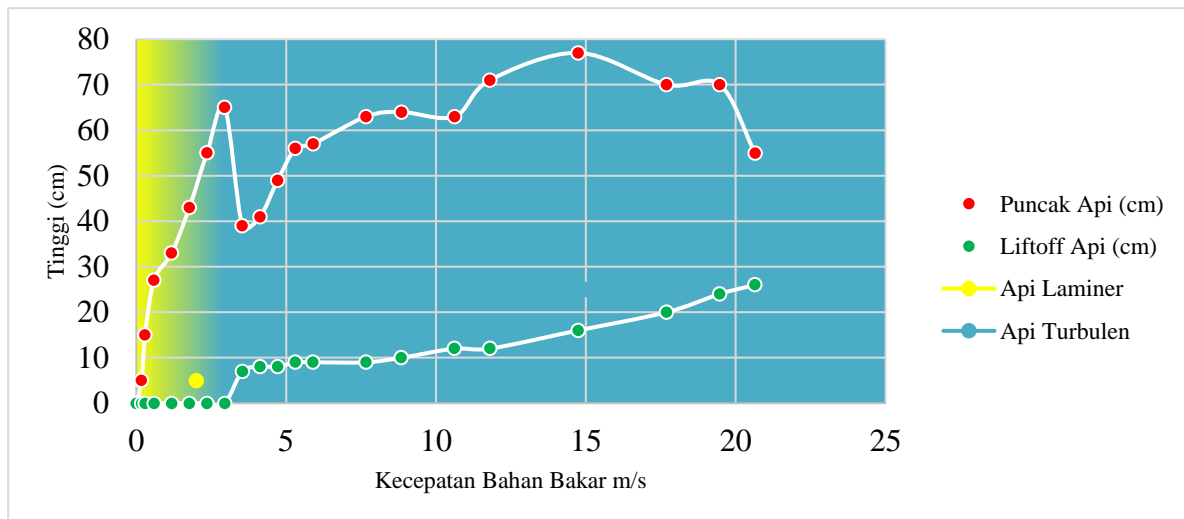


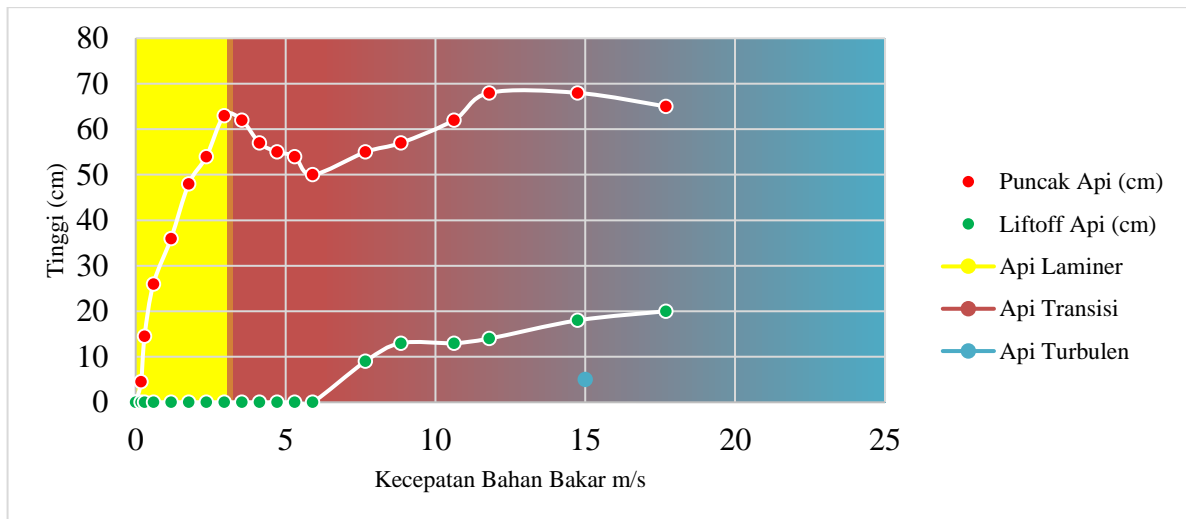
Gambar 4.3 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dengan pemasangan *swirl* 20°



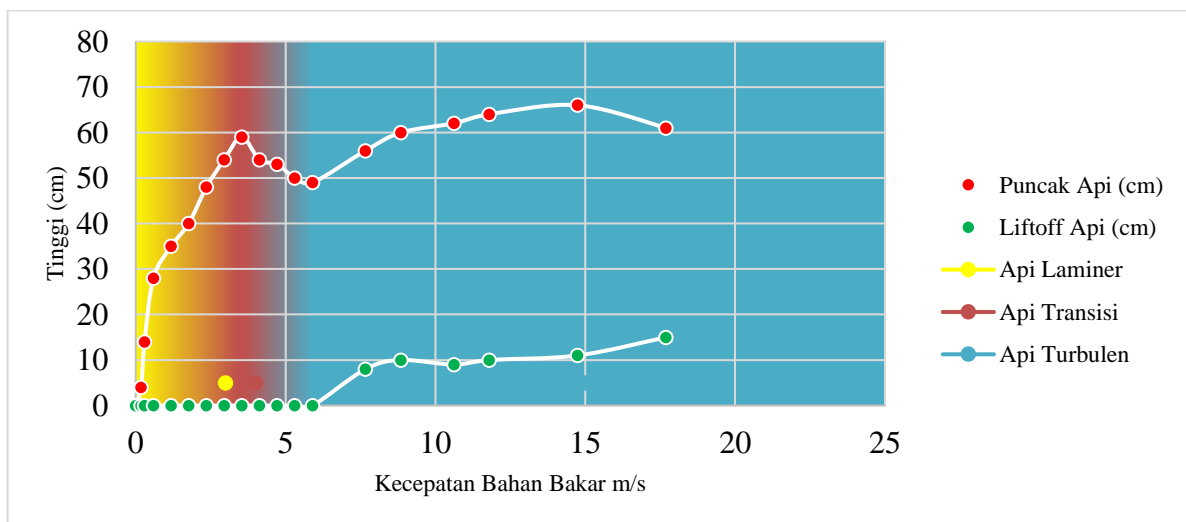
Gambar 4.4 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dengan pemasangan *swirl* 30°

Gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan pengaruh pemakaian sudut *swirl vanes* 0° , 10° , 20° dan 30° terhadap visualisasi api difusi dengan kecepatan udara konstan 1,2 m/s dan variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 m/s; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s; (t) 20,64 m/s; (u) 23,59 m/s. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 menghasilkan tinggi yang berbeda yang disebabkan pemakaian sudut *swirl vanes*, dimana semakin besar pemakaian sudut *swirl vanes* akan membuat ketinggian api menurun yang disebabkan bertambahnya hambatan pada saluran udara. Semakin besarnya hambatan pada saluran udara membuat udara melaju lebih ke arah radial. Udara yang melaju lebih ke arah radial membentuk zona resirkulasi yang disebabkan oleh aliran udara yang mengalami vortex yaitu udara yang berputar cepat mengitari pusatnya dan aliran menjadi turbulen sehingga menyebabkan pencampuran udara dan bahan bakar menjadi lebih baik. Bahan bakar dan udara yang tercampur secara baik dapat dilihat dari warna api yang berubah menjadi semakin biru dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar serta dari lebar api yang membesar ke arah radial. Perubahan warna api dari merah ke biru ditandai dengan seiring api menjadi turbulen dan mengalami *lift-off*. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran reaktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan nyala api. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 tentang grafik hubungan kecepatan terhadap ketinggian api difusi.

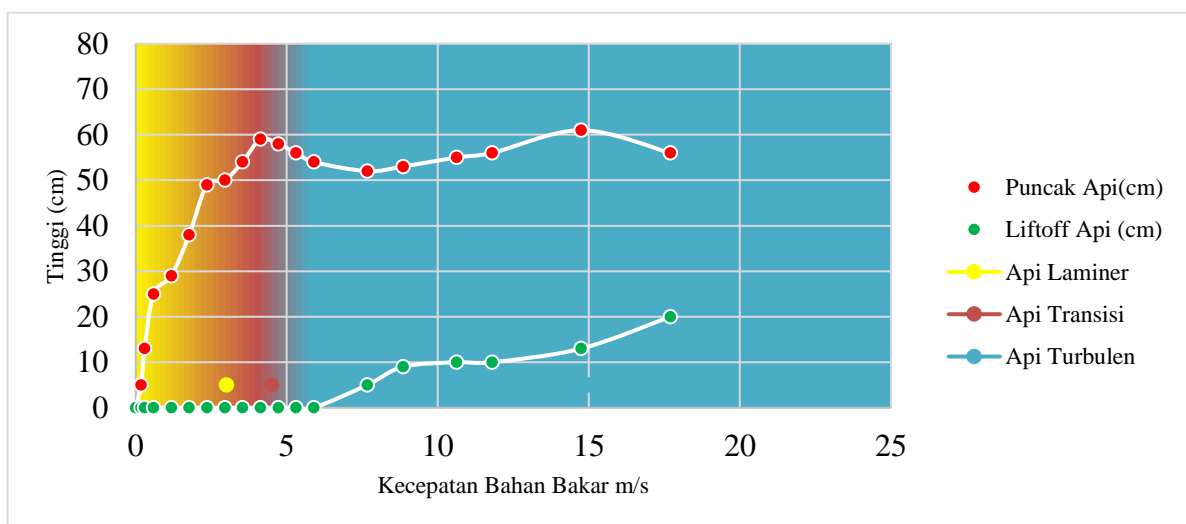




b



c

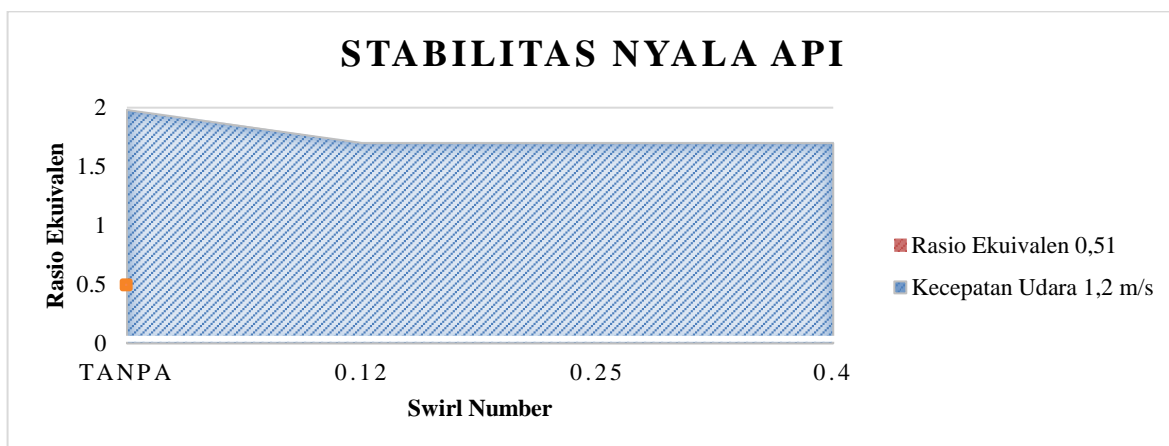


d

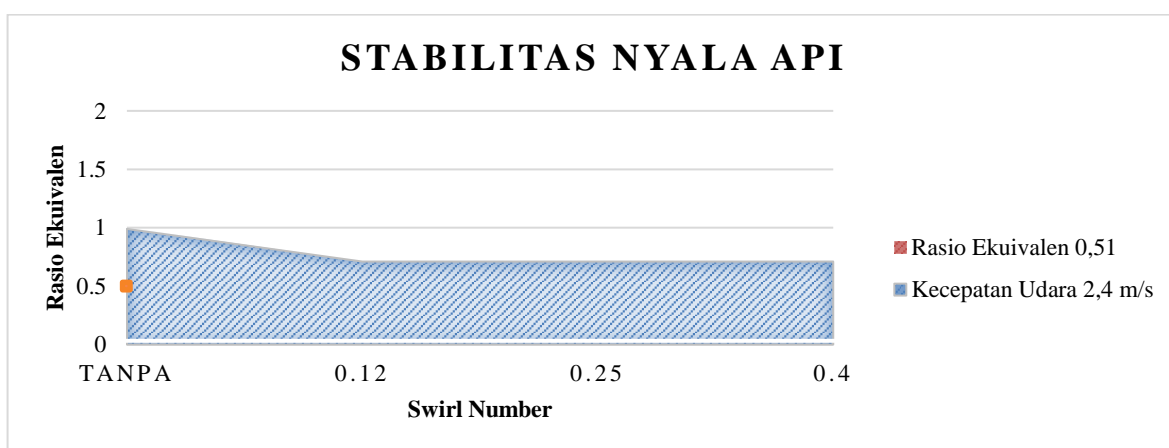
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara kecepatan bahan bakar terhadap ketinggian api difusi pada penggunaan sudut *swirl vanes* (a) Tanpa (b) 10°; (c) 20°; dan (d) 30°

Dari Gambar 4.5 yaitu tanpa pemasangan *swirl vanes* dapat dilihat memiliki ketinggian api laminar maksimum 65 cm pada kecepatan bahan bakar 2,95 m/s dan ketinggian api turbulen maksimum 77 cm pada kecepatan 14,74 m/s kemudian api akan mengalami *blowout* pada kecepatan bahan bakar 23,59 m/s. Pada pemasangan *swirl vanes* 10° memiliki ketinggian api laminar maksimum 63 cm pada kecepatan bahan bakar 2,95 m/s dan ketinggian api turbulen maksimum 68 cm pada kecepatan bahan bakar 14,74 m/s lalu api akan mengalami *blowout* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Pada pemasangan *swirl vanes* 20° memiliki ketinggian api laminar maksimum 59 cm pada kecepatan bahan bakar 3,54 m/s dan ketinggian api turbulen maksimum 66 cm pada kecepatan bahan bakar 14,74 m/s lalu api akan mengalami *blowout* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Pada pemasangan *swirl vanes* 30° memiliki ketinggian api laminar maksimum 59 cm pada kecepatan bahan bakar 4,13 m/s dan ketinggian api turbulen maksimum 61 cm pada kecepatan bahan bakar 14,74 m/s lalu api akan mengalami *blowout* pada kecepatan bahan bakar 19,46 m/s. Dari keseluruhan gambar, api akan mengalami *liftoff* pada kecepatan bahan bakar 7,67 m/s dimana api menyala menjauhi mulut burner yang disebabkan kecepatan aliran reaktan yang lebih besar dibandingkan kecepatan nyala api sehingga api baru dapat menyala pada titik tertentu.

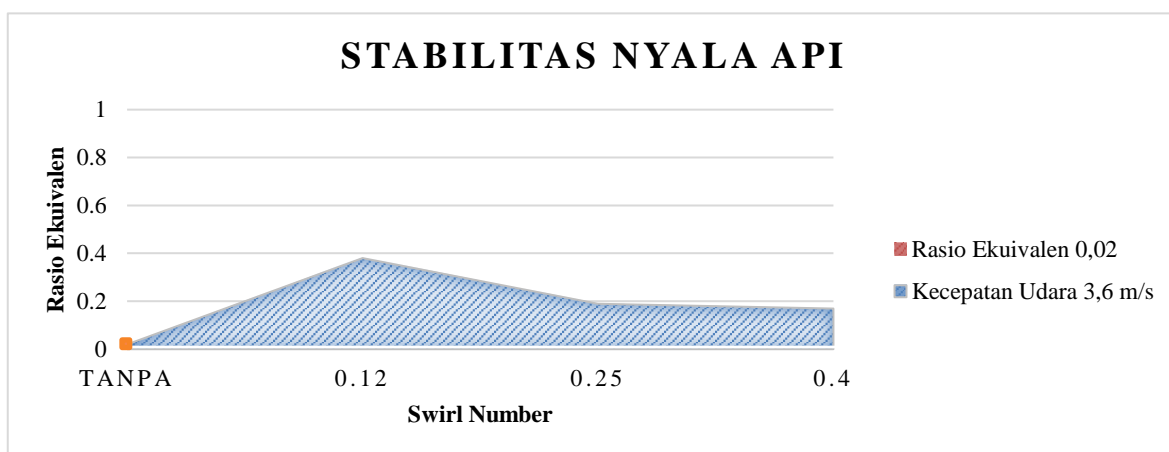
Kesimpulan yang didapatkan dari Gambar 4.5 yaitu bahwa tanpa penggunaan *swirl vanes* memiliki nilai tinggi api yang lebih besar dibandingkan penggunaan sudut *swirl vanes* 10°, 20° dan 30° yang akan memiliki ketinggian api yang terus menurun. Ini terjadi dikarenakan tanpa penggunaan *swirl vanes* memiliki hambatan yang paling sedikit pada saluran udara sehingga api akan menjulur keatas seiring dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar. *Swirl Vanes* dengan sudut 30° memiliki tinggi api yang paling kecil yang disebabkan aliran udara yang lebih mengarah ke arah radial karna hambatannya yang besar sehingga menyebabkan aliran menjadi turbulensi dimana akan terbentuknya zona resirkulasi yang membuat pencampuran antara bahan bakar dan udara semakin baik. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa setiap apinya memiliki kecenderungan yang lebih lebar. Selain itu, perubahan warna api dari yang berwarna merah menjadi biru seiring dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar, ini disebabkan seiring dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar, proses oksidasi yang berlangsung juga akan semakin bertambah karena warna api mewakili seberapa jumlah energi yang terjadi. Hal ini juga membuktikan bahwa api yang berwarna biru memiliki panas yang berlebih dibandingkan dengan yang merah.



a



b



c

Gambar 4.6 Grafik stabilitas nyala api pada kecepatan bahan bakar 0,18 m/s - 23,59 m/s dan kecepatan udara (a) 1,2 m/s; (b) 2,4 m/s; (c) 3,6 m/s terhadap *swirl number*

Gambar 4.6 menunjukkan stabilitas nyala api pada setiap pemakaian sudut *swirl vanes* dan berbagai nilai rasio ekuivalen. Variasi sudut *swirl vanes* yang digunakan pada penelitian ini yakni 10° , 20° dan 30° dan variasi bahan bakar 0,18 m/s; 0,29 m/s; 0,59 m/s; 1,18 m/s; 1,77 m/s; 2,36 m/s; 2,95 m/s; 3,54 m/s; 4,13 m/s; 4,72 m/s; 5,31 m/s; 5,9 m/s; 7,67 m/s; 8,85 m/s; 10,62 m/s; 11,8 m/s; 14,74 m/s; 17,69 m/s; 19,46 m/s; 20,64 m/s; 23,59 m/s dan kecepatan udara konstan (a) 1,2 m/s; (b) 2,4 m/s dan (c) 3,6 m/s. Penggunaan sudut *swirl vanes* dan rasio ekuivalen juga berpengaruh kepada stabilitas nyala api atau dimana saat api padam (*blow out*) terhadap kecepatan bahan bakar yang digunakan. Semakin besar sudut yang digunakan maka nilai *swirl number* juga semakin bertambah. Kemudian semakin besar kecepatan bahan bakar yang digunakan maka rasio ekuivalen juga semakin bertambah sedangkan dengan mengganti kecepatan udara konstan yang lebih tinggi maka nilai kecenderungan rasio ekuivalen menurun.

$$S = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{Rh}{R}\right)^3}{1 - \left(\frac{Rh}{R}\right)^2} \right] \tan \theta$$

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoich}}{(AFR)_{aktual}}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen pada berbagai kecepatan udara konstan yang berbeda-beda yakni (a) $\Phi = 0,02 - 2,26$; (b) $\Phi = 0,01 - 1,13$; (c) $\Phi = 0,01 - 0,75$ terhadap *swirl number* $S = 0$; 0,12; 0,25 dan 0,4. Dapat dilihat pemakaian kecepatan udara konstan 1,2 m/s dengan $\Phi = 0,02 - 2,26$ mempunyai stabilitas nyala api yang lebih besar dibanding yang lainnya. Hal ini disebabkan karena penggunaan udara yang lebih kecil membuat aliran tidak terlalu turbulen sehingga api akan tetap menyala dengan bertambahnya bahan bakar yang pada akhirnya padam pada kecepatan bahan bakar tertentu. Sedangkan pada penggunaan udara 3,6 m/s dengan $\Phi = 0,01 - 0,75$ akan membuat aliran menjadi lebih turbulen sehingga proses *blowout* akan lebih cepat berlangsung diakibatkan kecepatan aliran yang lebih besar dari laju nyala api atau kecepatan pembakaran. Walaupun campuran antara bahan bakar dan udara masih dalam batas mampu nyala tetapi api tidak dapat menyala dikarenakan api difusi telah melewati batas kritis *lift-off*.

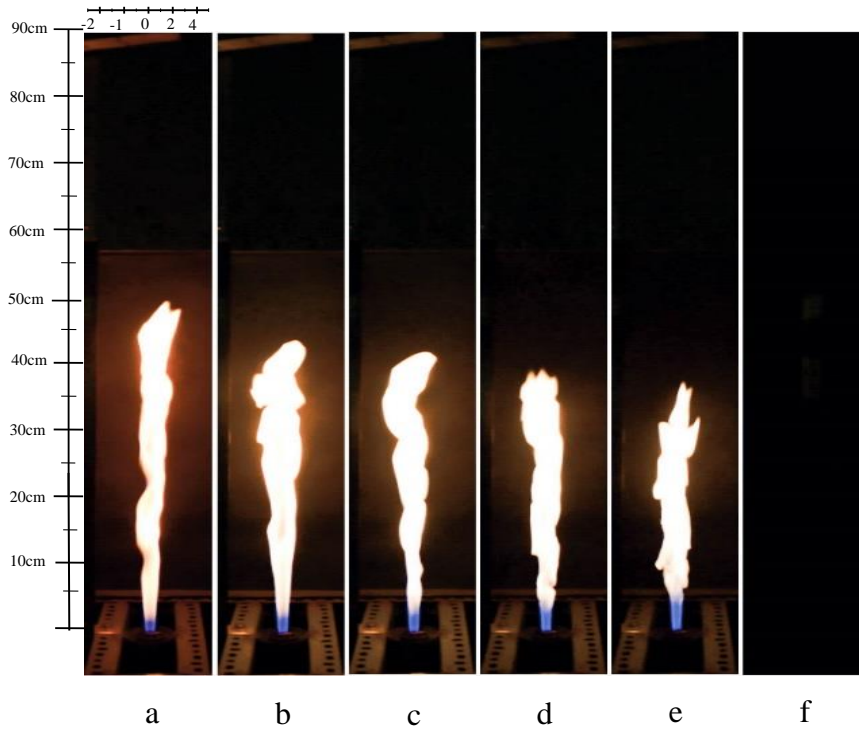
Dari Gambar 4.6 juga dapat dilihat bahwa dengan seiring bertambahnya pemakaian *swirl number* maka stabilitas nyala api terhadap rasio ekuivalen akan menurun. Hal ini disebabkan *swirl number* yang lebih besar mempunyai sudut yang besar pula sehingga udara

lebih mengarah ke arah radial karena hambatannya yang besar. Dikarenakan hambatan besar, aliran mengalami olakan-olakan yang pada akhirnya membentuk zona resirkulasi dan membuat pencampuran terfokus di bagian tengah mendekati mulut burner. Tetapi pada kecepatan udara konstan 3,6 m/s tanpa pemakaian *swirl number* stabilitas nyala api sangat kecil yang diakibatkan aliran reaktan yang sangat cepat. Dikarenakan kecepatan reaktan yang sangat cepat dibandingkan kecepatan nyala api atau kecepatan pembakaran maka api tidak dapat menyala.

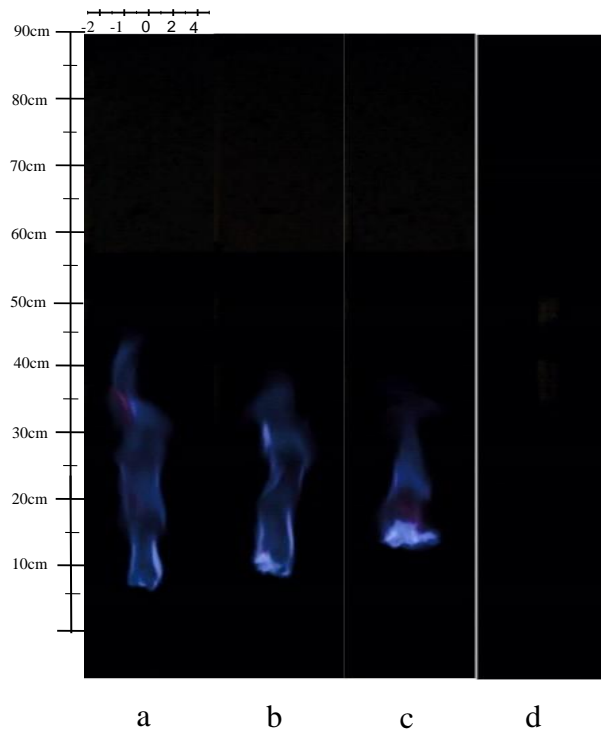
4.3.1.2 Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Visualisasi Api Difusi



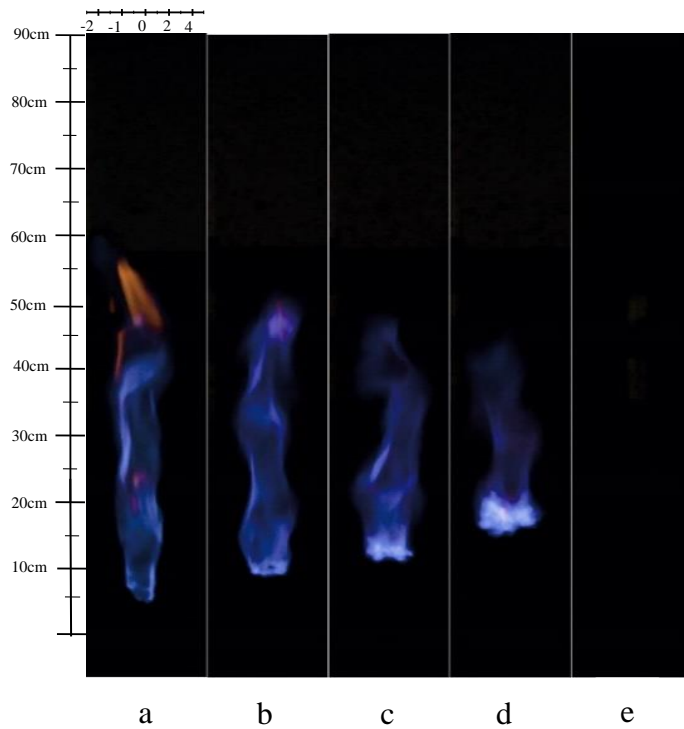
Gambar 4.7 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s; (e) 5,3 m/s dengan kecepatan bahan bakar 0,29 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



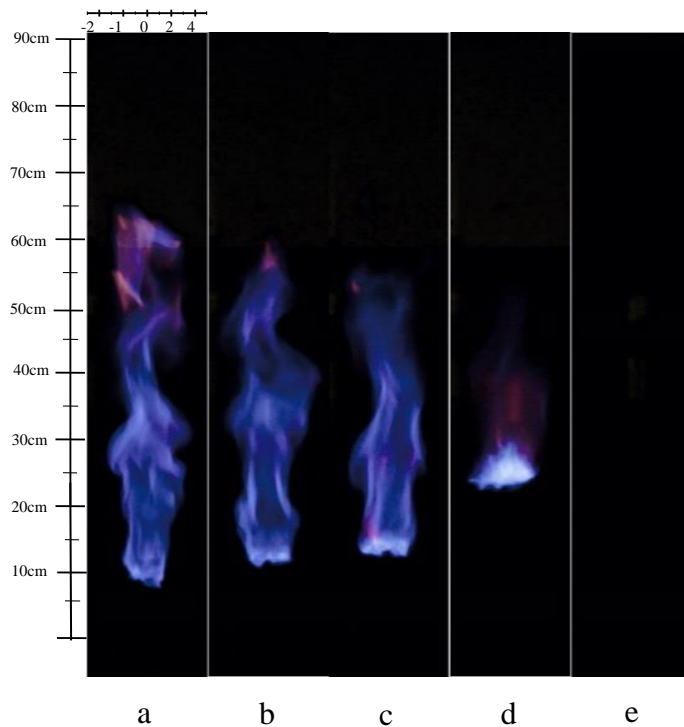
Gambar 4.8 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s; (e) 5,3 m/s; (f) 8,8 m/s dengan kecepatan bahan bakar 1,77 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.9 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s dengan kecepatan bahan bakar 3,54 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.10 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s; (e) 5,3 m/s dengan kecepatan bahan bakar 5,31 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.11 Visualisasi api pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s; (e) 5,3 m/s dengan kecepatan bahan bakar 8,85 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°

Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan 4.11 menunjukkan visualisasi api difusi pada variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s; (b) 1,8 m/s; (c) 2,4 m/s; (d) 3,6 m/s; (e) 5,3 m/s; (f) 8,8 m/s dengan menggunakan sudut *swirl* vanes 10° dan kecepatan bahan bakar yang sama. Dari

persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan udara maka nilai rasio ekuivalen juga semakin menurun dimana nilai mol udara bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara.

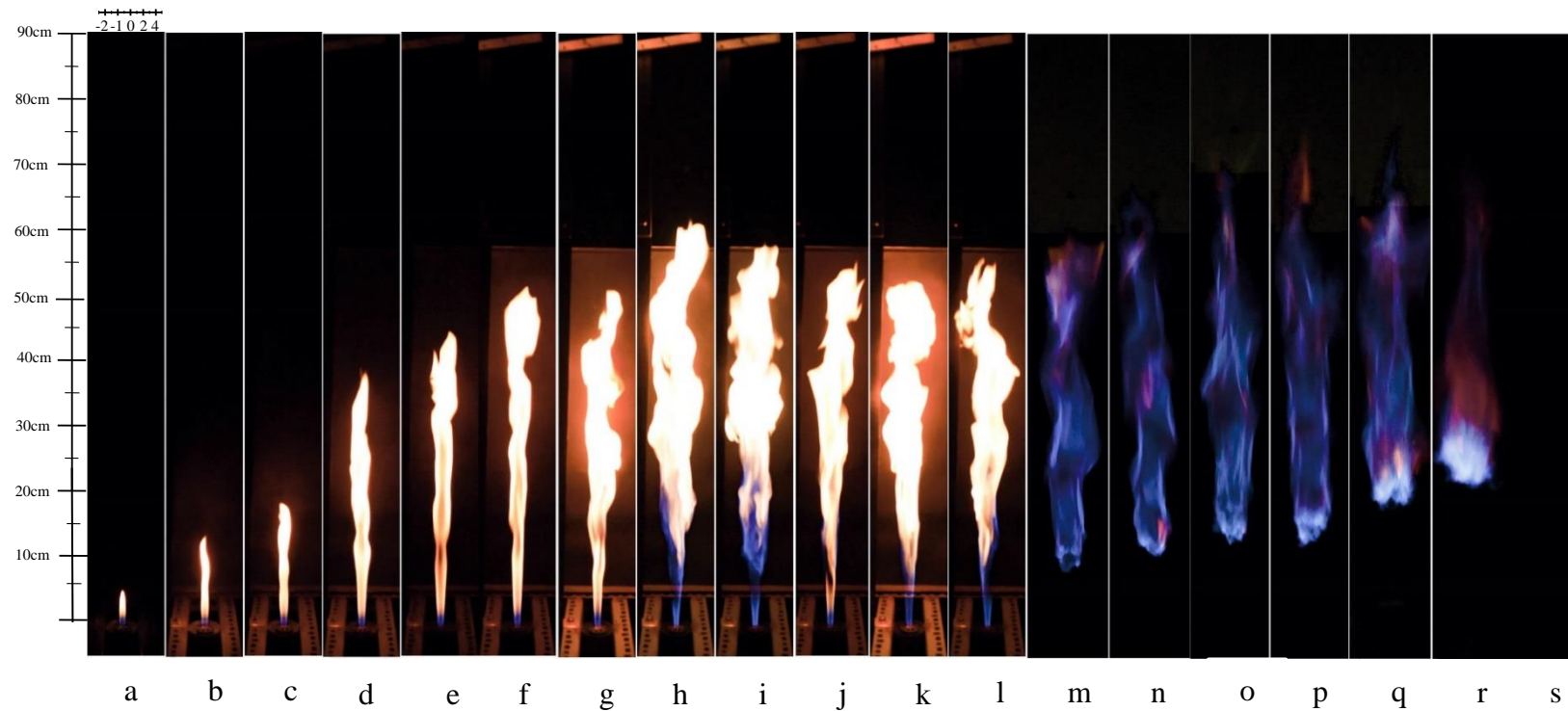
$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoich}}{(AFR)_{aktual}}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

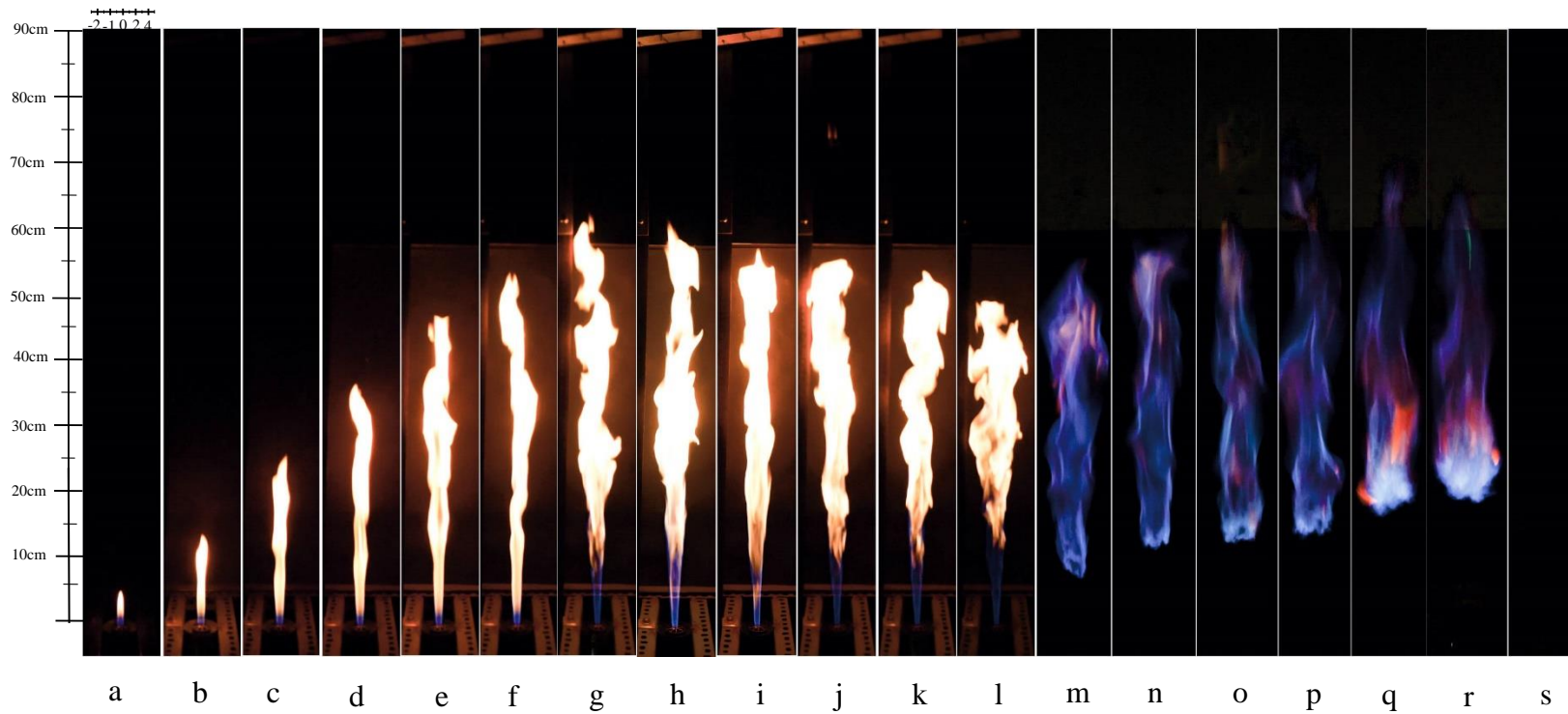
Dari Gambar 4.11 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari tinggi ke rendah yakni (a) $\Phi = 1,4559$; (b) $\Phi = 0,5662$; (c) $\Phi = 0,42461$; (d) $\Phi = 0,2831$; dan (e) $\Phi = 0,1158$. Dari data tersebut ketinggian api yang paling tinggi ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang tinggi pula yaitu $\Phi = 1,4559$ yaitu 65 cm dan api akan mengalami penurunan ketinggian dengan seiring berkurangnya nilai rasio ekuivalen secara berurutan 60 cm, 58 cm dan 53 cm. Hal ini disebabkan nilai ekuivalen yang tinggi mempunyai nilai kecepatan udara yang rendah sehingga pencampuran antara bahan bakar dan udara belum tercampur dengan baik dan baru tercampur dengan baik dibagian atas yang dikarenakan bahan bakar yang terbawa oleh udara. Fenomena terbawanya bahan bakar oleh udara ini disebabkan oleh efek *buoyancy* dimana massa jenis bahan udara lebih tinggi dibandingkan massa jenis bahan bakar dimana massa jenis udara adalah $0,0012 \text{ gr/cm}^3$ dan massa jenis metana adalah $0,000716 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan nilai ekuivalen rasio yang rendah memiliki kecepatan udara yang tinggi dimana kecepatan udara yang tinggi membuat aliran menjadi turbulen ditandai dengan udara yang mengalami vortex yang akan membentuk zona resirkulasi pada pembakaran dan membuat keluaran bahan bakar yang menjauhi mulut burner akan kembali mendekati mulut burner disebabkan tekanan yang dihasilkan oleh olakan-olakan udara. Pada penambahan kecepatan udara juga menunjukkan bahwa api tidak mengalami perubahan warna dari merah menjadi biru. Hal ini disebabkan karena proses oksidasi yang berlangsung hampir tidak berubah dan menghasilkan udara yang berlebih, lalu udara yang berlebih itu terbuang ke lingkungan.

Dari keseluruhan gambar yakni Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan 4.11 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan bahan bakar konstan menjadi lebih besar maka ketinggian api juga akan semakin tinggi tetapi pada kecepatan bahan bakar 3,54 m/s ketinggian api menurun karena pada kecepatan bahan bakar 3,54 m/s terjadi perubahan dari api laminar menjadi turbulen dimana dengan bertambahnya kecepatan bahan bakar maka tinggi api laminar akan berkurang sedangkan tinggi api turbulen akan terus meningkat. Penambahan kecepatan bahan bakar tetap pada setiap percobaan ini membuat nilai rasio ekuivalen juga meningkat.

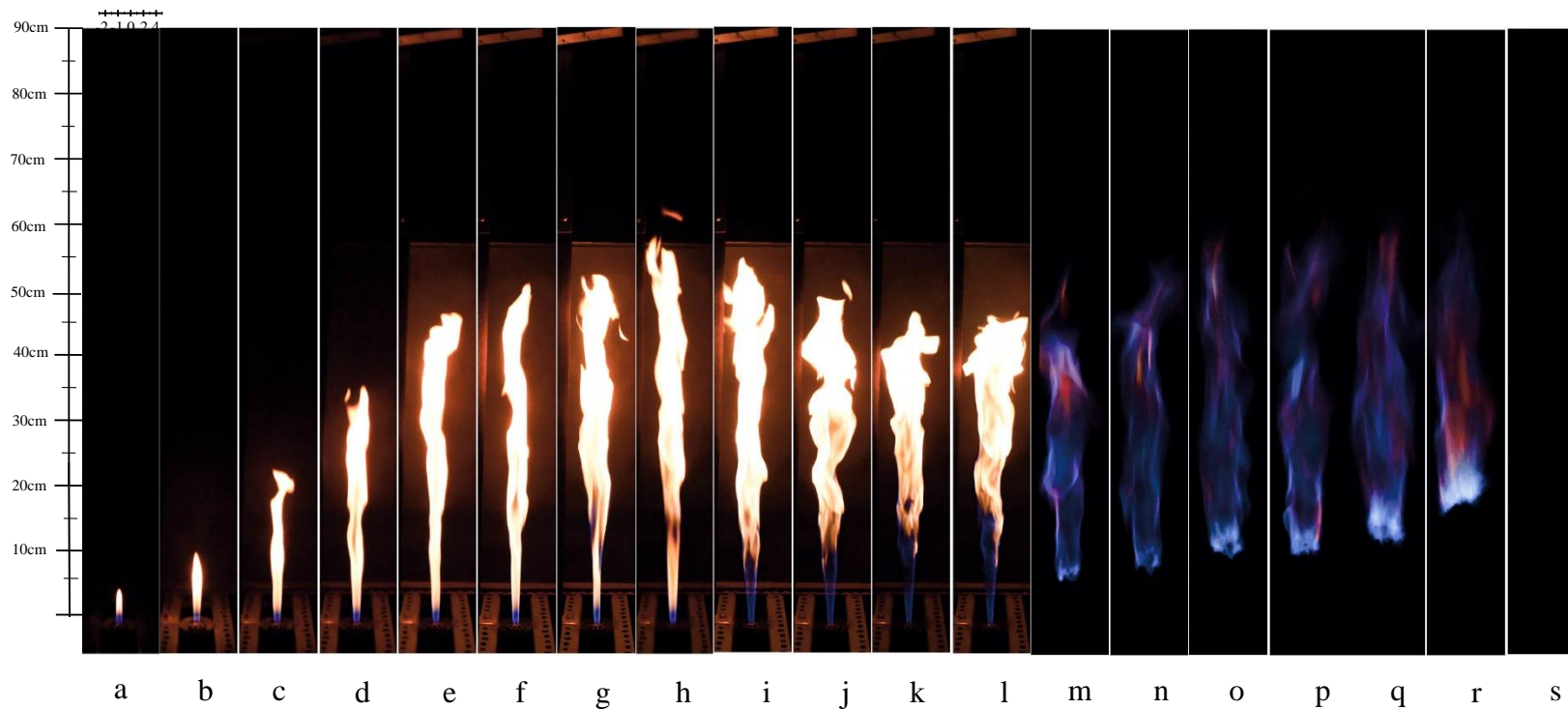
4.3.1.3 Pengaruh Kecepatan Bahan Bakar Terhadap Visualisasi Api Difusi



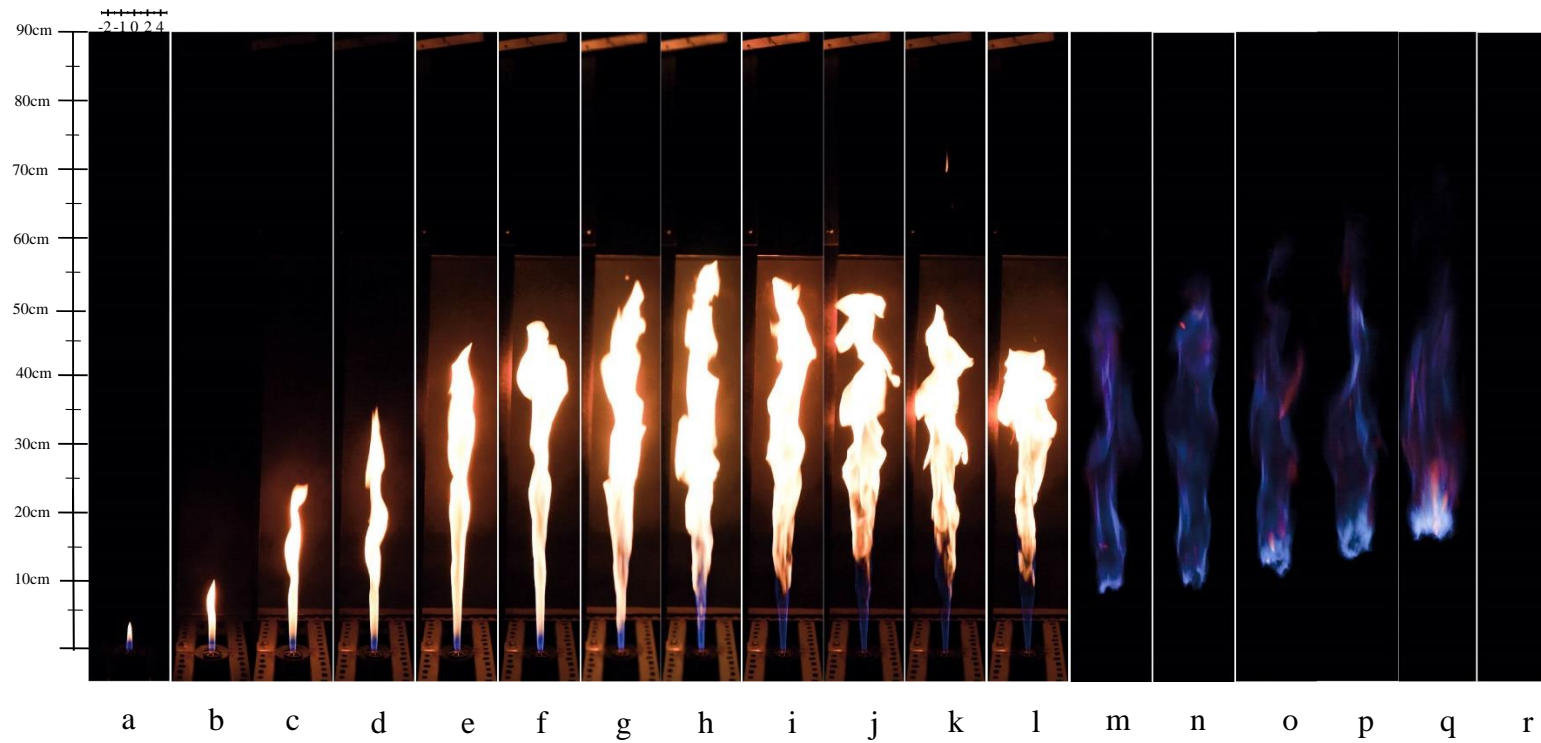
Gambar 4.12 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 m/s; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



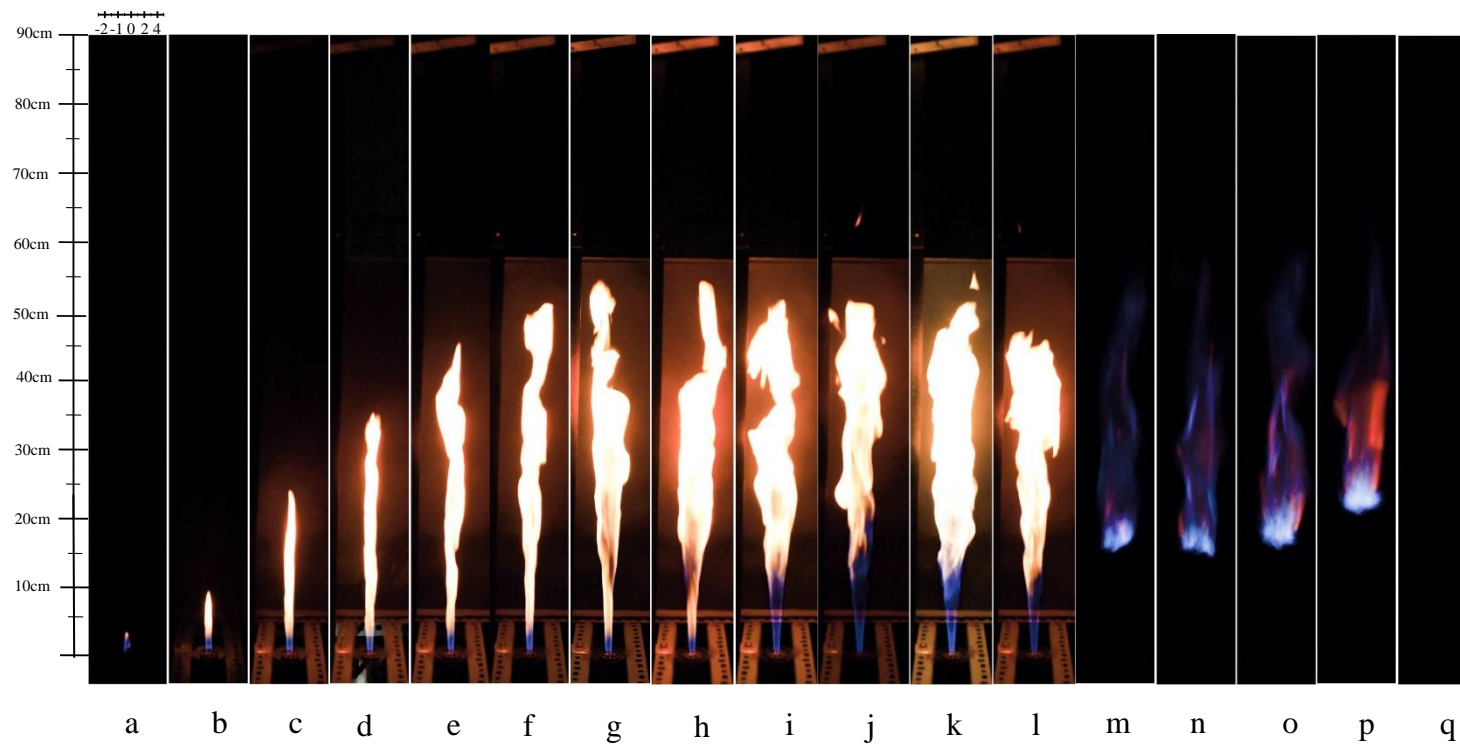
Gambar 4.13 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 m/s; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.14 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan kecepatan udara 1,8 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.15 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s dengan kecepatan udara 2,4 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°



Gambar 4.16 Visualisasi api pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s dengan kecepatan udara 3,6 m/s dengan pemasangan *swirl* 10°

Gambar 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 menunjukkan visualisasi api difusi pada variasi kecepatan bahan bakar (a) 0,18 m/s; (b) 0,29 m/s; (c) 0,59 m/s; (d) 1,18 ms; (e) 1,77 m/s; (f) 2,36 m/s; (g) 2,95 m/s; (h) 3,54 m/s; (i) 4,13 m/s; (j) 4,72 m/s; (k) 5,31 m/s; (l) 5,9 m/s; (m) 7,67 m/s; (n) 8,85 m/s; (o) 10,62 m/s; (p) 11,8 m/s; (q) 14,74 m/s; (r) 17,69 m/s; (s) 19,46 m/s dengan menggunakan sudut *swirl vanes* 10° dan kecepatan udara tetap. Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar maka nilai rasio ekuivalen juga semakin meningkat dimana nilai mol bahan bakar bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara. Nilai mol bahan bakar yang meningkat membuat nilai AFR_{aktual} semakin menurun.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoich}}{(AFR)_{aktual}}$$

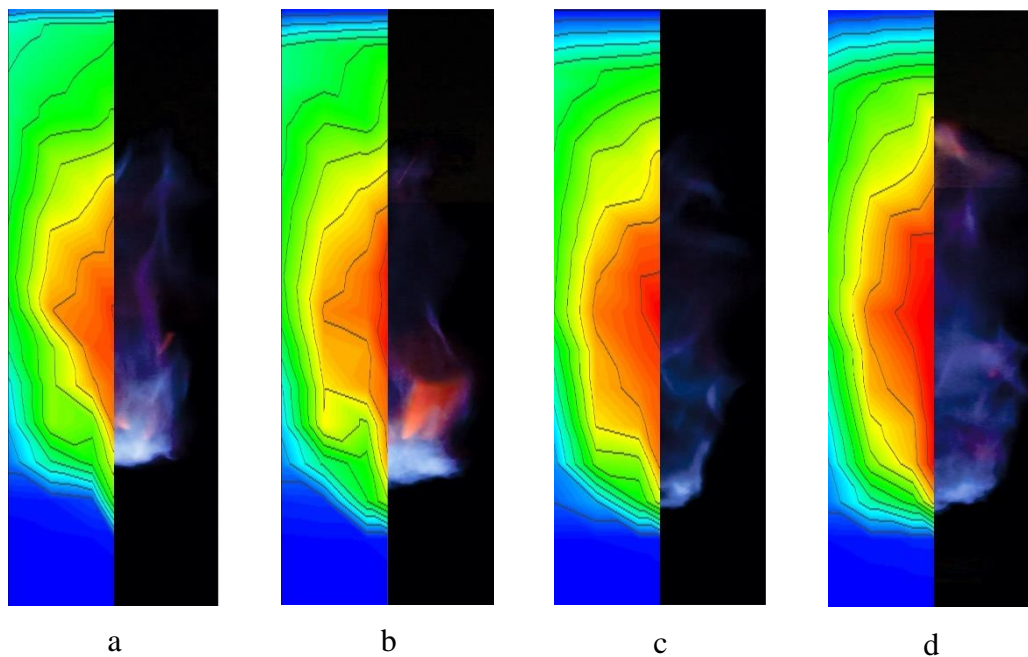
$$AFR_{aktual} = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari rendah ke tinggi yakni (a) $\Phi = 0,03$; (b) $\Phi = 0,05$; (c) $\Phi = 0,10$; (d) $\Phi = 0,19$; (e) $\Phi = 0,29$; (f) $\Phi = 0,39$; (g) $\Phi = 0,49$; (h) $\Phi = 0,58$; (i) $\Phi = 0,68$; (j) $\Phi = 0,78$; (k) $\Phi = 0,87$; (l) $\Phi = 0,97$; (m) $\Phi = 1,26$; (n) $\Phi = 1,46$; (o) $\Phi = 1,75$; (p) $\Phi = 1,94$; (q) $\Phi = 2,43$; (r) $\Phi = 2,91$; dan (s) $\Phi = 3,20$. Dari keseluruhan gambar dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya rasio ekuivalen maka ketinggian api akan semakin tinggi kemudian tinggi api akan mengalami penurunan pada saat api bertransisi dari api laminar menjadi turbulen dimana seiring bertambahnya rasio ekuivalen api laminar akan semakin menurun sedangkan api turbulen akan semakin tinggi lalu tinggi api akan mengalami peningkatan kembali setelah api sudah menjadi sepenuhnya turbulen yang ditandai dengan api yang mempunyai *liftoff*. Perubahan api dari laminar menjadi turbulen dikarenakan semakin besarnya olakan yang dihasilkan karena kecepatan bahan bakar yang terus bertambah. Tinggi *liftoff* juga mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya rasio ekuivalen dikarenakan kecepatan reaktan yang terus bertambah sehingga nyala api terangkat dan menjauhi mulut burner.

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat ketinggian api laminar paling tinggi berada pada $\Phi = 0,58$ yaitu 63 cm dan ketinggian api turbulen yang paling tinggi berada pada $\Phi = 1,94$ yaitu 74 cm. Pada saat sebelum api akan mengalami *blowout*, api cenderung mengalami ketidakstabilan dikarenakan besarnya olakan yang dihasilkan oleh aliran reaktan. Olakan yang terlalu besar membuat turbulensi yang dihasilkan juga sangat besar dan mempengaruhi tinggi api dimana ketinggian api akan menurun. Hal ini yang menyebabkan pada $\Phi = 1,94$ tinggi api turbulen mencapai titik maksimum.

Dari keseluruhan gambar yakni Gambar 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan udara tetap menjadi lebih besar maka kecenderungan tinggi api juga akan semakin menurun. Hal ini disebabkan dengan semakin bertambahnya udara maka olakan yang dihasilkan juga semakin besar. Olakan yang dihasilkan oleh udara membentuk zona resirkulasi dimana keluaran bahan bakar yang awalnya menjauhi mulut burner kembali mendekati mulut burner. Fenomena ini bisa terjadi akibat turbulensi yang besar menciptakan tekanan yang membawa bahan bakar kembali mendekati mulut burner. Seiring dengan mengganti kecepatan udara menjadi lebih besar maka nilai rasio ekuivalen pun mengalami penurunan. Hal ini bisa dilihat pada tabel dimana nilai rasio ekuivalen rata-rata dengan kecepatan udara tetap 3,6 m/s mempunyai nilai rasio ekuivalen rata-rata paling kecil.

4.3.2 Kontur Distribusi Api Difusi

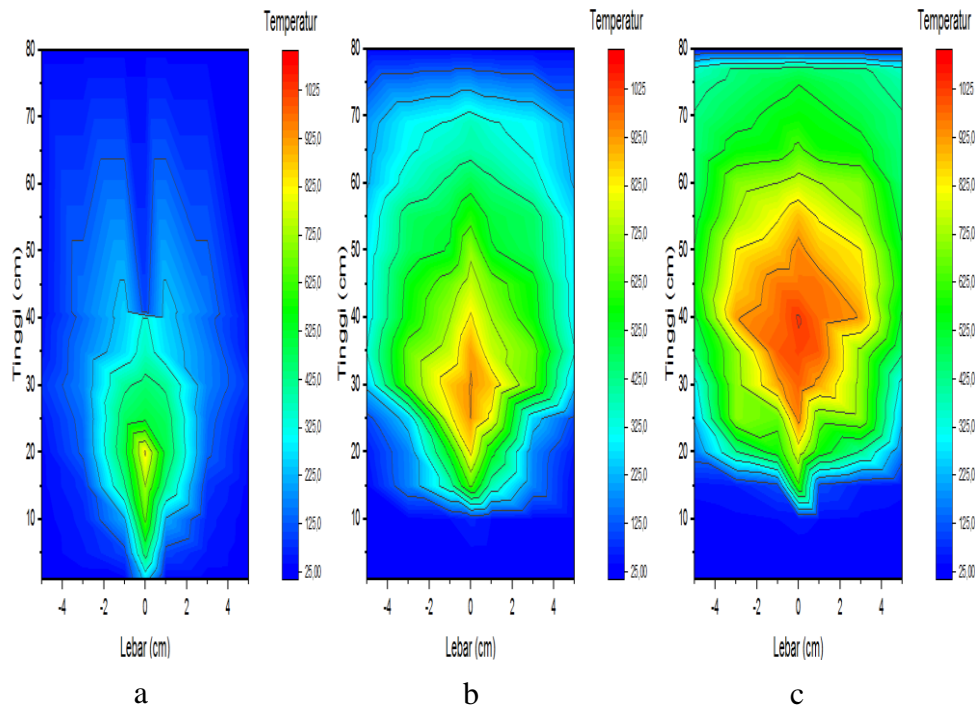


Gambar 4.17 Kontur distribusi temperatur dengan origin dan visualisasi api difusi dengan menggunakan metode eksperimental pada (a) Tanpa (b) 10° (c) 20° (d) 30°

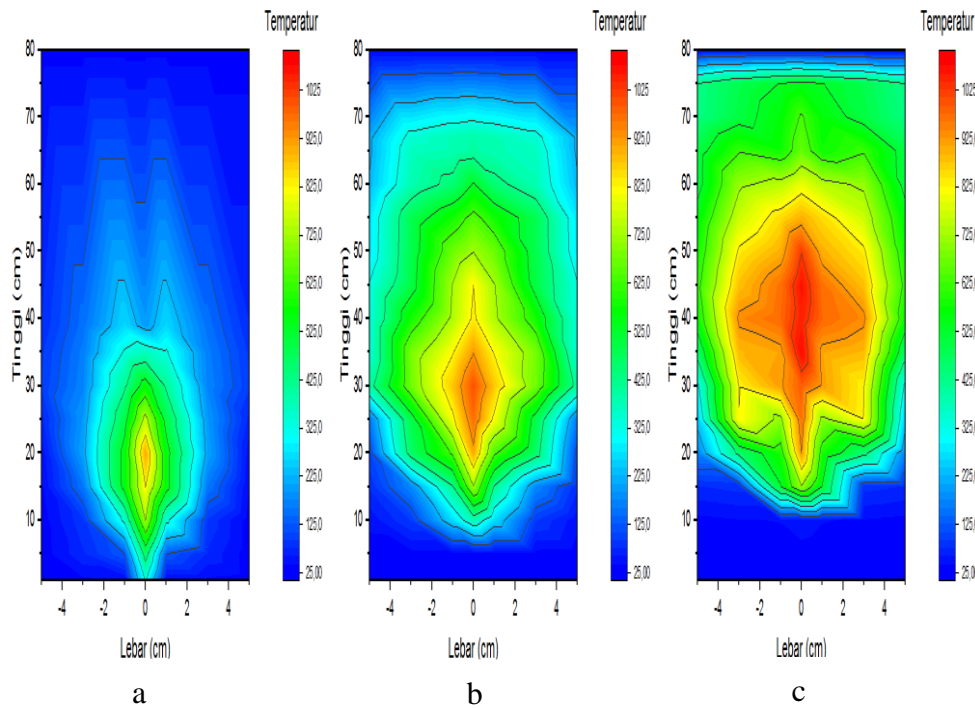
Gambar 4.17 menunjukkan kontur distribusi temperatur api difusi dengan menggunakan *software* origin disertai dengan gambar visualisasi yang diperoleh dengan menggunakan kamera. Data temperatur didapatkan dengan menggunakan *thermocouple* tipe K dengan temperatur maksimal ukurnya sebesar 1370°C . Data yang diperoleh dari *thermocouple* ditransmisikan oleh data *logger* ke laptop. Kemudian data temperatur yang telah didapatkan akan diolah menggunakan *software* origin 2018. Dapat dilihat pada setiap gambar bahwa terdapat warna yang berbeda-beda. Perbedaan warna ini menandakan tingkat perbedaan

temperatur dimana semakin tinggi temperatur dari api difusi maka warna dari kontur distribusi temperatur akan semakin memerah.

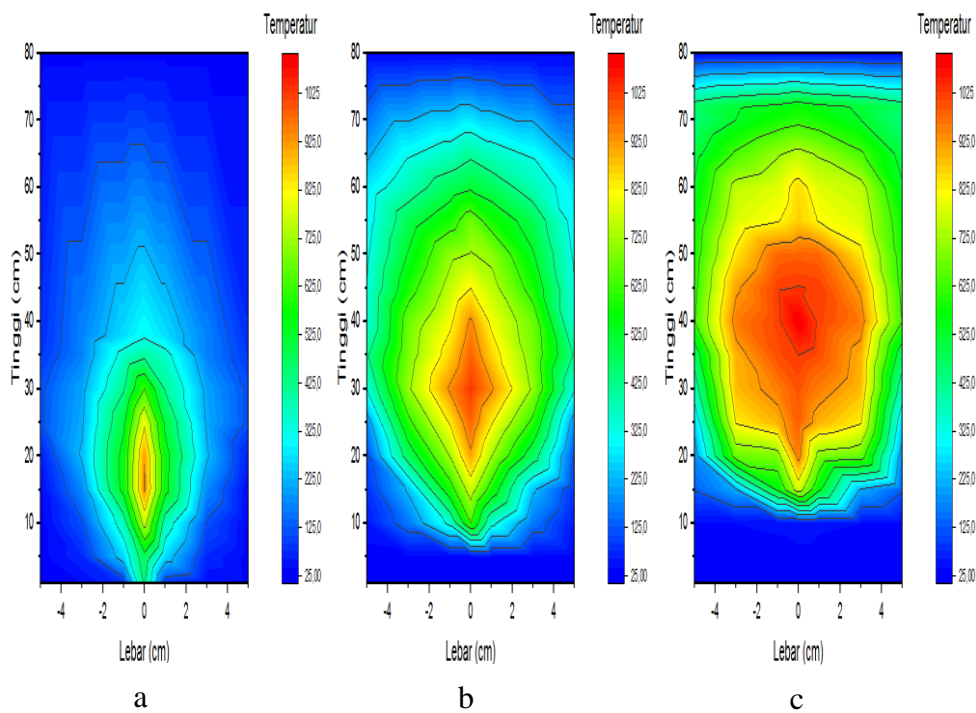
4.3.2.1 Pengaruh Variasi Sudut *Swirl Vanes* Terhadap Kontur Distribusi Api Difusi



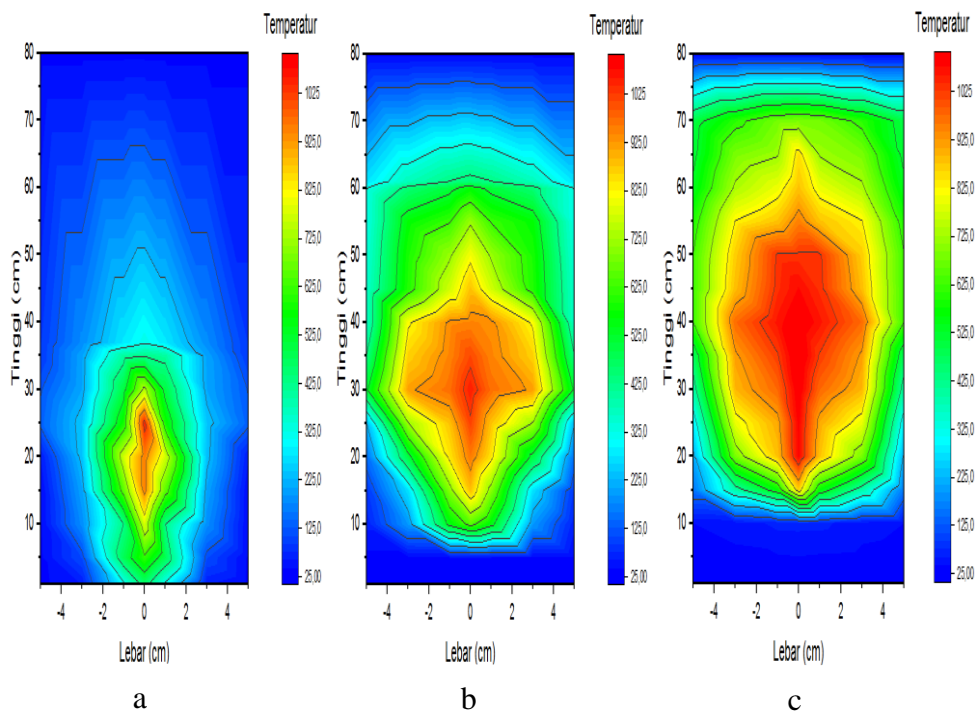
Gambar 4.18 Grafik kontur distribusi pada kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dan tanpa pemasangan *swirl vanes*



Gambar 4.19 Grafik kontur distribusi pada kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°



Gambar 4.20 Grafik kontur distribusi pada kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 20°



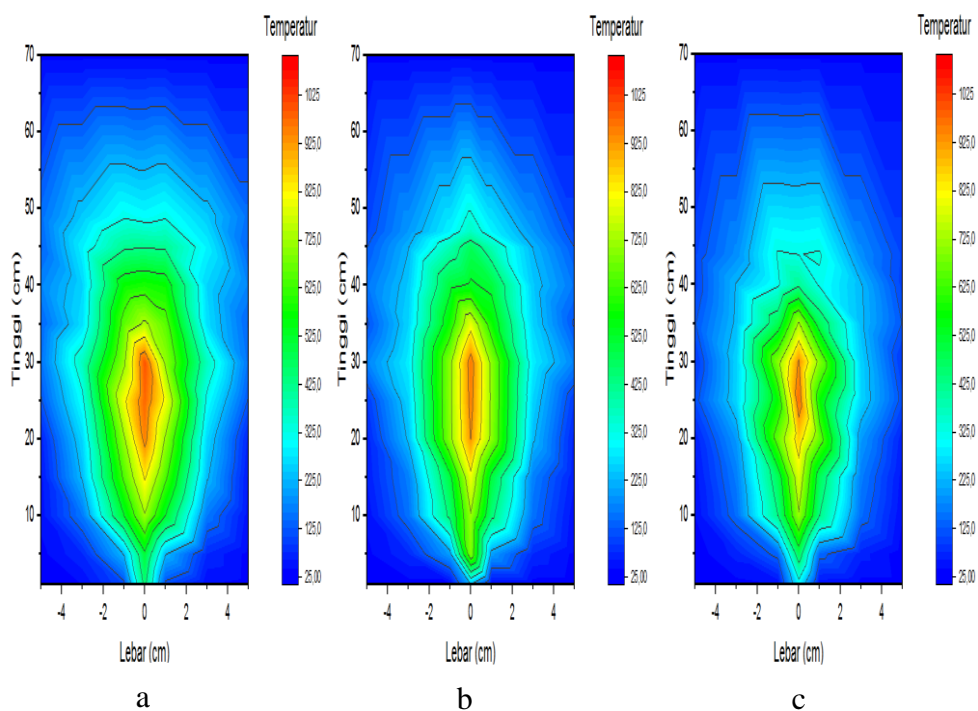
Gambar 4.21 Grafik kontur distribusi pada kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 14,74 m/s dengan kecepatan udara 1,2 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 30°

Pada Gambar 4.18, 4.19, 4.20 dan 4.21 menunjukkan distribusi temperatur pada variasi sudut yang berbeda dari setiap *swirl vanes*. Variasi sudut yang digunakan dalam penelitian ini yakni 0°, 10°, 20°, dan 30° yang disajikan dalam bentuk *plotting*. Perbedaan warna yang

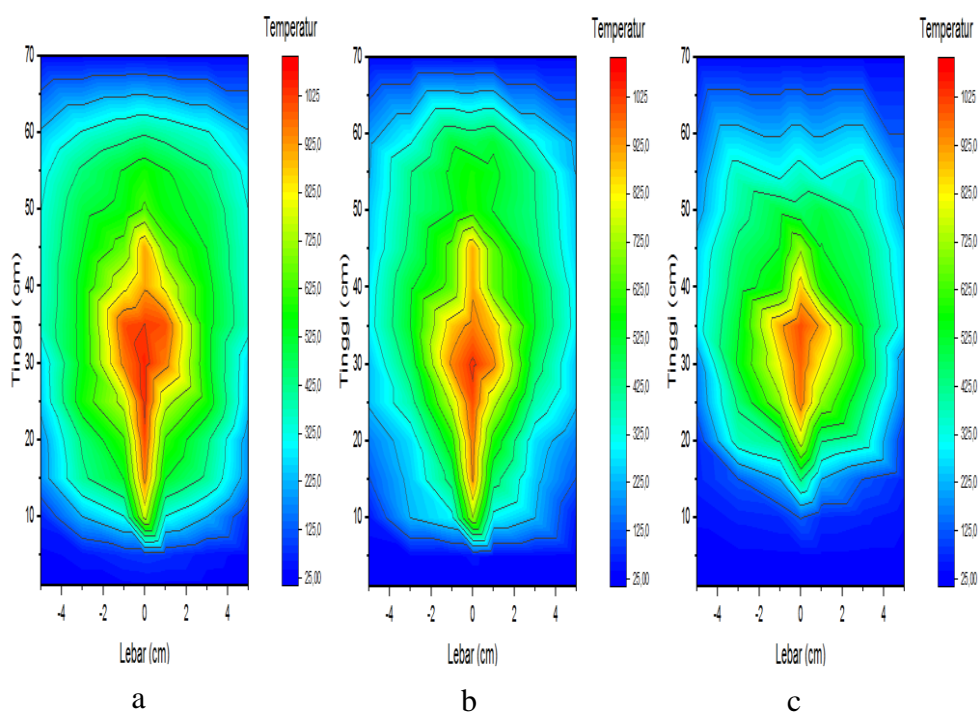
terdapat pada setiap *plotting* distribusi temperatur menunjukkan besar nilai temperatur dalam satuan celcius ($^{\circ}\text{C}$). Temperatur yang mempunyai warna merah menunjukkan temperatur yang paling tinggi kemudian temperatur terus menurun secara berurutan sesuai dengan warna kuning, hijau dan biru. Pada setiap bentuk *plotting* temperatur yang memiliki warna merah selalu berada di tengah. Warna merah disini menunjukkan zona resirkulasi yang terbentuk oleh aliran udara yang pada akhirnya bertemu dengan bahan bakar sehingga pada daerah tengah terjadi pencampuran bahan bakar dan udara yang baik. Pencampuran yang dikarenakan olakan yang dihasilkan oleh udara dan bahan bakar ialah bertubrukannya atom-atom udara dan bahan bakar dengan kecepatan yang tinggi. Hal ini yang menyebabkan pada daerah tengah selalu memiliki temperatur yang paling tinggi dibandingkan dengan daerah lainnnya dimana fenomena ini sesuai dengan prinsip *transport phenomena*.

Dari setiap gambar ditunjukkan bahwa penggunaan sudut *swirl vanes* sangat mempengaruhi distribusi temperatur api difusi. Pada Gambar 4.18 yaitu tanpa pemasangan *swirl vanes* memiliki luasan warna merah yang paling sedikit jika dibandingkan dengan sudut 10° , 20° , dan 30° yang secara berurutan memiliki luasan warna merah yang terus bertambah. Bertambahnya luasan warna merah pada setiap bertambahnya pemasangan sudut *swirl vanes* ini menunjukkan bahwa temperatur terdistribusi secara merata. Pada gambar 4.21 dengan pemasangan sudut *swirl vanes* 30° menunjukkan distribusi temperatur yang paling merata dibandingkan tanpa pemasangan *swirl vanes* dan sudut *swirl vanes* 10° dan 20° . Hal ini disebabkan dengan pemasangan sudut *swirl vanes* 30° akan menyebabkan aliran menjadi lebih turbulen dimana sudut 30° memiliki kemiringan yang lebih dan membuat udara terhambat dan mengarah lebih kearah radial lalu terciptanya olakan-olakan yang besar yang akhirnya membuat aliran menjadi lebih turbulen. Turbulen yang diciptakan oleh penggunaan sudut *swirl vanes* 30° membentuk zona resirkulasi dimana meningkatkan temperatur yang dilepas oleh api difusi karena pencampuran antara bahan bakar dan udara menjadi semakin baik. Fenomena ini sesuai dengan *transport fenomena* dimana dengan penggunaan sudut *swirl vanes* 30° membuat atom-atom udara dan bahan bakar yang keluar lintasan dan akhirnya bertribukan akan semakin banyak sehingga temperatur akan meningkat.

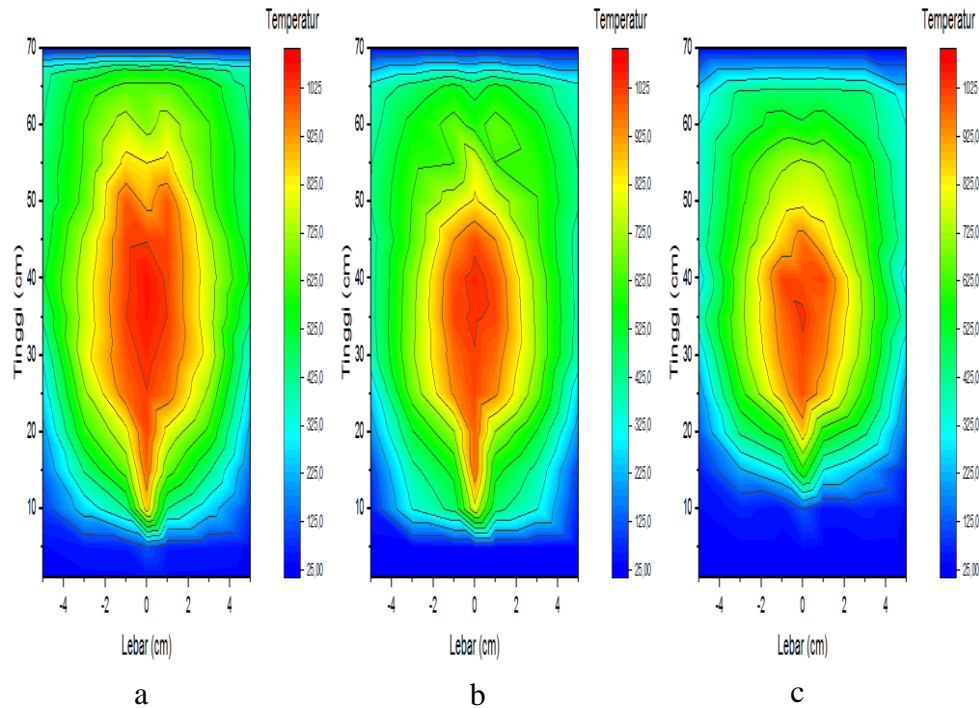
4.3.2.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Kontur Distribusi Api Difusi



Gambar 4.22 Grafik kontur distribusi pada kecepatan udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 m/s dengan kecepatan bahan bakar 1,77 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°



Gambar 4.23 Grafik kontur distribusi pada kecepatan udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 m/s dengan kecepatan bahan bakar 5,31 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°



Gambar 4.24 Grafik kontur distribusi pada kecepatan udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 m/s dengan kecepatan bahan bakar 8,85 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°

Pada Gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 menunjukkan distribusi temperatur dengan variasi kecepatan udara (a) 0,7 m/s (b) 1,8 m/s (c) 2,4 m/s dengan kecepatan bahan bakar konstan dan pemasangan *swirl vanes* 10°. Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan udara maka nilai rasio ekuivalen juga semakin menurun dimana nilai mol udara bertambah seiring bertambahnya kecepatan udara.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoich}}{(AFR)_{aktual}}$$

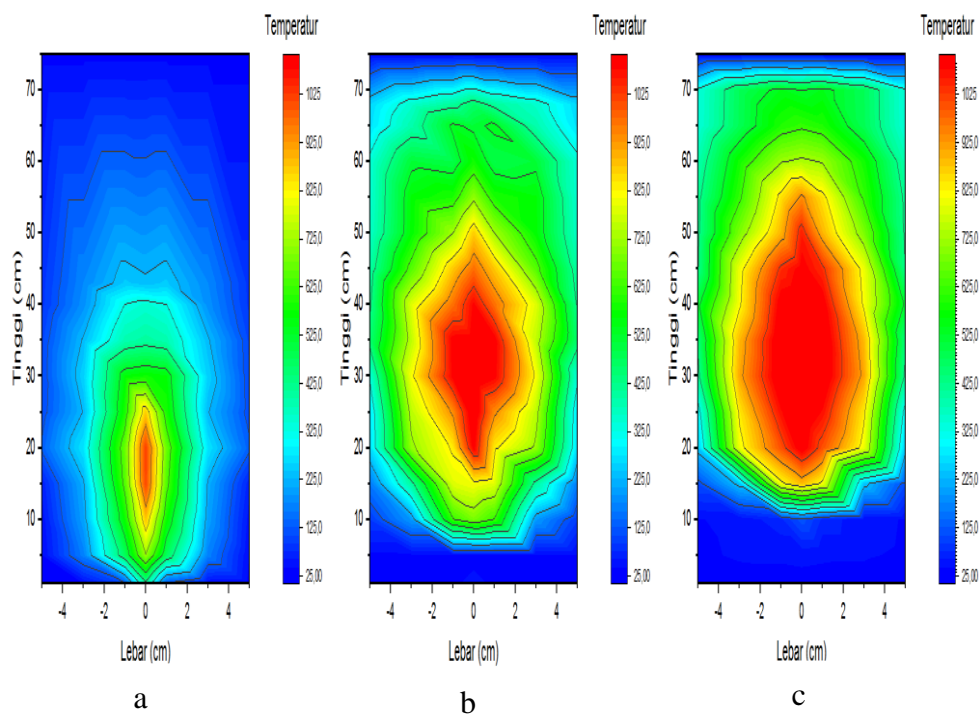
$$AFR_{aktual} = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

Dari Gambar 4.24 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari tinggi ke rendah yakni (a) $\Phi = 1,4559$; (b) $\Phi = 0,5662$; dan (c) $\Phi = 0,42461$. Dari data tersebut distribusi temperatur api difusi yang paling tinggi dan paling merata ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang tinggi pula yaitu $\Phi = 1,4559$ dan distibusi api difusi akan mengalami penurunan dengan seiring berkurangnya nilai rasio ekuivalen. Hal ini disebabkan nilai rasio ekuivalen yang tinggi mempunyai nilai kecepatan udara yang rendah sehingga udara sepenuhnya beroksidasi dengan bahan bakar sedangkan nilai rasio ekuivalen yang rendah memiliki udara berlebih yang tidak seluruhnya beroksidasi dengan bahan bakar. Udara yang tidak teroksidasi ini membuat pembebanan pada distribusi temperatur semakin besar dimana

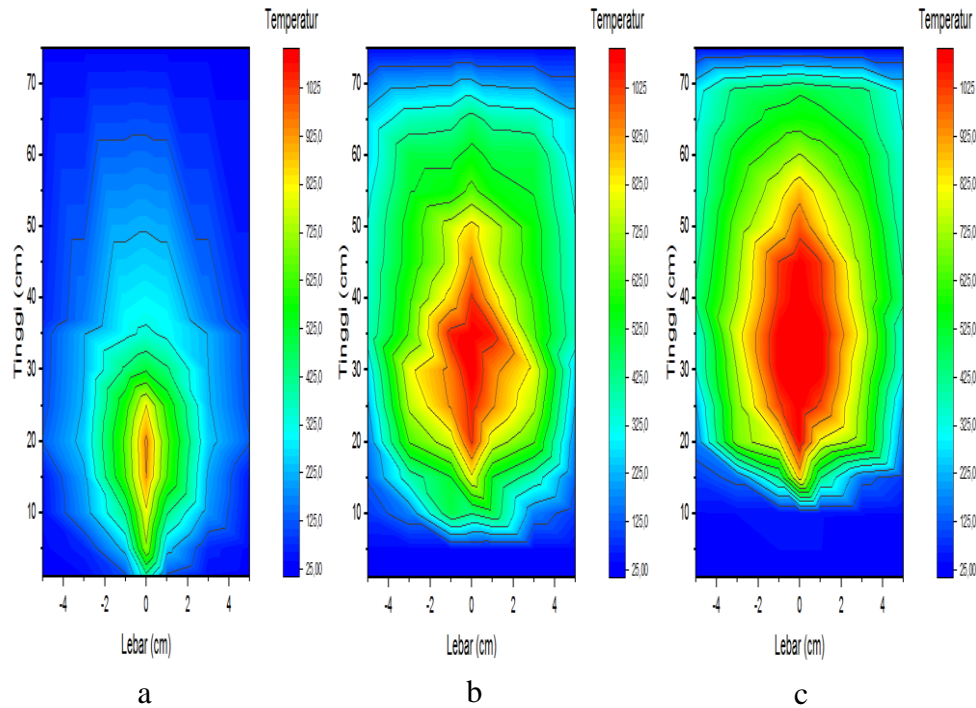
temperatur pada pembakaran terserap oleh udara yang tidak teroksidasi dan akhirnya terbangun ke lingkungan.

Dari keseluruhan gambar yakni Gambar 4.22, 4.23 dan 4.24 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan bahan bakar konstan menjadi lebih besar maka rasio ekuivalen juga semakin bertambah dimana distribusi temperatur api difusi juga akan semakin tinggi dan merata. Adapun hal ini disebabkan karena adanya kecepatan aliran bahan bakar yang bertambah sehingga mengakibatkan terjadinya turbulensi. Keadaan turbulensi mengakibatkan atom-atom udara dan bahan bakar bertubrukan dengan kecepatan tinggi dimana keadaan ini dapat meningkatkan temperatur api dan hal ini sesuai dengan prinsip *transport phenomena*. Seiring dengan meningkatnya kecepatan bahan bakar dapat dilihat pada temperatur bagian tengah api selalu memiliki temperatur yang lebih tinggi. Nilai kecenderungan kenaikan ekuivalen rasio dengan mengganti kecepatan bahar konstan dapat dilihat pada Tabel 4.6-4.10.

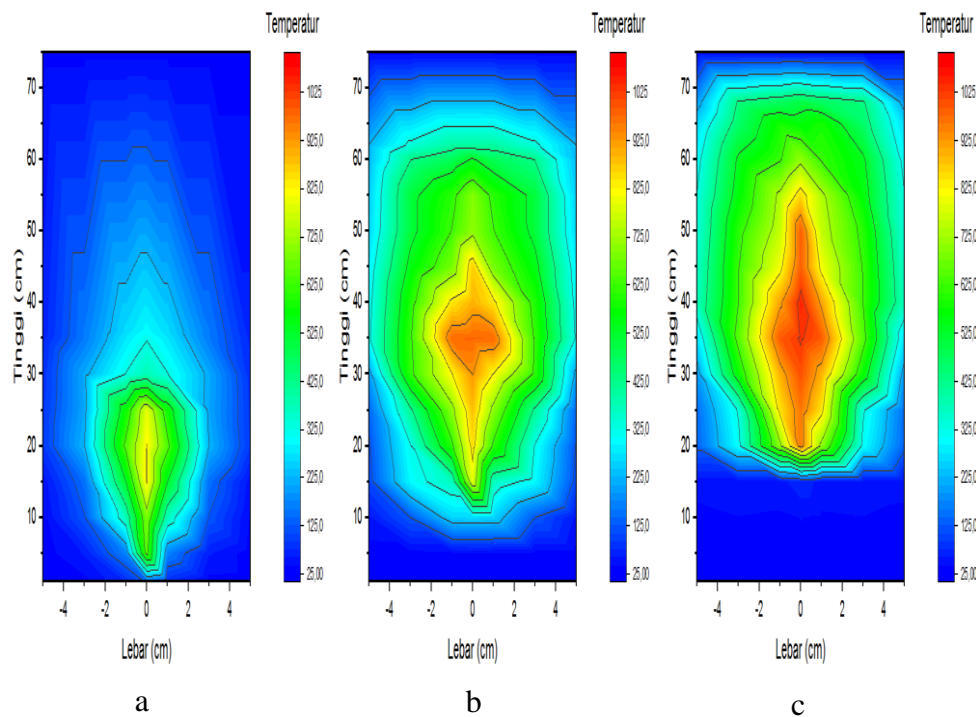
4.3.2.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Bahan Bakar Terhadap Kontur Distribusi Api Difusi



Gambar 4.25 Grafik kontur distribusi pada bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,8 m/s dengan kecepatan udara 0,7 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°



Gambar 4.26 Grafik kontur distribusi pada bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,8 m/s dengan kecepatan udara 2,4 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°



Gambar 4.27 Grafik kontur distribusi pada bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,8 m/s dengan kecepatan udara 3,6 m/s dan pemasangan *swirl vanes* 10°

Pada Gambar 4.25, 4.26 dan 4.27 menunjukkan distribusi temperatur dengan variasi kecepatan bahan bakar (a) 1,18 m/s (b) 7,67 m/s (c) 11,8 m/s dengan kecepatan udara konstan dan pemasangan *swirl vanes* 10° . Dari persamaan tentang rasio ekuivalen dapat dilihat dengan seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar maka nilai rasio

ekuivalen juga semakin meningkat dimana nilai mol bahan bakar bertambah seiring bertambahnya kecepatan bahan bakar. Seiring bertambahnya nilai mol bahan bakar menurunkan nilai AFR_{aktual} dan seiring dengan menurunnya AFR_{aktual} maka nilai rasio ekuivalen akan semakin meningkat.

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoich}}{(AFR)_{aktual}}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

Dari Gambar 4.25 dapat dilihat nilai rasio ekuivalen dari rendah ke tinggi yakni (a) $\Phi = 0,19$; (b) $\Phi = 1,26$; dan (c) $\Phi = 1,94$. Dari data tersebut distribusi temperatur api difusi yang paling rendah dan kurang merata ditunjukkan dengan api yang mempunyai nilai rasio ekuivalen yang rendah pula yaitu $\Phi = 0,19$ dan distribusi api difusi akan mengalami peningkatan dengan seiring bertambahnya nilai rasio ekuivalen. Hal ini disebabkan nilai rasio ekuivalen yang rendah memiliki bahan bakar yang sedikit dimana bahan bakar yang teroksidasi oleh sebagian udara dan sisa udara yang tidak teroksidasi meresap temperatur disekitar pembakaran sebelum akhirnya terbang ke lingkungan. Sedangkan distribusi temperatur paing tinggi berada pada saat $\Phi = 1,94$ dimana rasio ekuivalen yang semakin besar memiliki kecepatan bahan bakar yang besar pula sehingga mengakibatkan aliran menjadi turbulensi dan membentuk zona resirkulasi yang lebih besar dibanding rasio ekuivalen yang lebih kecil. Resirkulasi ini yang mengakibatkan tubrukan antara atom bahan bakar dan udara dengan kecepatan tinggi dan menghasilkan temperatur api yang meningkat. Hal ini sesuai dengan prinsip *transfer phenomena* dengan seiring meningkatnya kecepatan bahan bakar, temperatur pada bagian tengah api juga akan mempunyai temperatur api difusi yang paling tinggi.

Dari keseluruhan gambar yakni Gambar 4.25, 4.26 dan 4.27 juga dapat dilihat dengan mengganti kecepatan udara konstan menjadi lebih besar maka rasio ekuivalen juga semakin berkurang dimana distribusi temperatur api difusi juga akan semakin turun dan kurang merata. Adapun hal ini disebabkan karena adanya kecepatan aliran udara yang bertambah akan menghasilkan udara berlebih yang tidak bereaksi dengan bahan bakar. Jadi dengan seiring bertambahnya kecepatan udara konstan memiliki kecenderungan distribusi api difusi yang semakin menurun diakibatkan pembebanan lebih oleh udara pada temperatur pembakaran. Adapun hasil kecenderungan nilai rasio ekuivalen yang semakin menurun akibat bertambahnya kecepatan udara konstan dapat dilihat pada Tabel 4.1-4.5.

